1797

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А. И. ГЕРЦЕНА

РОССИЙСКОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО ИМ. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА
(САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ)

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ XXI ВЕКА

Материалы IX Всероссийской молодежной конференции
с международным участием, посвященной 95-летию со дня рождения
заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора
Юрия Николаевича Кукушкина

HERZEN

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А. И. ГЕРЦЕНА

РОССИЙСКОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО ИМ. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА (САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ)

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ XXI ВЕКА

Материалы IX Всероссийской молодежной конференции с международным участием, посвященной 95-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора Юрия Николаевича Кукушкина

Санкт-Петербург
Издательство РГПУ им. А. И. Герцена
2026

УДК 54
ББК 24
Х46

Р е ц е н з е н т ы:
А. И. Фишер, кандидат химических наук,
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет);
В. П. Пронин, доктор физико-математических наук, профессор,
Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена

О т в е т с т в е н н ы е р е д а к т о р ы:
канд. хим. наук, доц. Байчурин Р. И.;
канд. хим. наук, доц. Исаева Е. И.
доктор хим. наук, Макаренко С. В.

Х46 **Химия** и химическое образование XXI века: материалы IX Всероссийской молодежной конференции с международным участием, посвященной 95-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора Юрия Николаевича Кукушкина / отв. ред.: Р. И. Байчурин, Е. И. Исаева, С. В. Макаренко. — Санкт-Петербург : Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2026. — 1 электронно-оптический диск. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-8064-3809-7

В сборнике представлены материалы докладов IX Всероссийской молодежной конференции с международным участием «Химия и химическое образование XXI века по следующим направлениям: органическая, биологическая, фармацевтическая и медицинская химия; неорганическая, координационная химия и нанохимия; физическая и квантовая химия, искусственный интеллект в химии и материаловедении; аналитическая и экологическая химия; химическое образование, методика преподавания химии.

Сборник может быть полезен для молодых ученых, технологов, преподавателей, аспирантов и студентов, деятельность которых связана с химическим синтезом и исследованием свойств органических, неорганических, координационных соединений, наноматериалов, а также для интересующихся вопросами химического образования в школе и вузе.

УДК 54
ББК 24

Минимальные системные требования:
Тип компьютера, процессор, частота: IBM/PC; Intel Core J3 3,3 ГГц
Оперативная память (RAM): 512 Мб
Необходимо на винчестере: 20 Мб
Дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader

ISBN 978-5-8064-3809-7

© Коллектив авторов, 2026
© РГПУ им. А. И. Герцена, 2026

Организационный комитет конференции:

Председатель:

Макаренко Сергей Валентинович	д-р. хим. наук, декан факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена

Сопредседатель:

Исаева Екатерина Игоревна	канд. хим. наук, доцент кафедры неорганической химии РГПУ им. А. И. Герцена

Ответственный секретарь оргкомитета:

Игонин Артем Сергеевич	заведующий учебными лабораториями кафедры органической химии РГПУ им. А. И. Герцена

Состав оргкомитета:

Озерова Ольга Юрьевна	канд. хим. наук, доцент кафедры органической химии РГПУ им. А. И. Герцена
Лобановская Анастасия Анатольевна	специалист по учебно-методической работе I категории факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена
Байчурин Руслан Измаилович	канд. хим. наук, доцент кафедры органической химии РГПУ им. А. И. Герцена
Гомонов Кирилл Александрович	ассистент кафедры органической химии РГПУ им. А. И. Герцена
Остроглядов Евгений Сергеевич	канд. хим. наук, доцент кафедры органической химии РГПУ им. А. И. Герцена
Пелипко Василий Васильевич	старший научный сотрудник лаборатории нитросоединений РГПУ им. А. И. Герцена, кандидат химических наук
Пилипенко Илья Александрович	ассистент кафедры органической химии РГПУ им. А. И. Герцена
Никонорова Ольга Александровна	заведующий учебными лабораториями кафедры органической химии РГПУ им. А. И. Герцена
Копылова Вера Алексеевна	заведующий учебными лабораториями кафедры неорганической химии РГПУ им. А.И. Герцена, кандидат технических наук
Степанова Анна Михайловна	лаборант факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена

Совенко Полина Сергеевна	обучающаяся 2 курса магистратуры факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена
Сизова Алёна Андреевна	обучающаяся 1 курса магистратуры факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена
Минаева Вероника Юрьевна	обучающаяся 2 курса магистратуры факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена
Михайлов Валерий Валерьевич	обучающийся 2 курса магистратуры факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена
Демчук Злата Александровна	обучающаяся 3 курса бакалавриата факультета химии РГПУ им. А.И. Герцена
Чернова Ульяна Денисовна	обучающаяся 3 курса бакалавриата факультета химии РГПУ им. А.И. Герцена

Программный комитет конференции:

Председатель:

Калмыков Степан Николаевич	д-р хим. наук, академик РАН, вице-президент РАН, научный руководитель Химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

Члены программного комитета:

Кукушкин Вадим Юрьевич	д-р хим. наук, академик РАН, профессор кафедры физической органической химии Санкт-Петербургского государственного университета
Жижин Константин Юрьевич	д-р хим. наук, член-корреспондент РАН, профессор, заместитель директора по научной работе Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН
Шевельков Андрей Владимирович	д-р. хим. наук, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой неорганической химии МГУ им. М. В. Ломоносова
Буслаева Татьяна Максимовна	д-р. хим. наук, профессор кафедры химии и технологии редких элементов имени К.А. Большакова РТУ МИРЭА
Кинжалов Михаил Андреевич	д-р. хим. наук, профессор кафедры физической органической химии Санкт-Петербургского государственного университета

Чусов Денис Александрович	д-р. хим. наук, заведующий лабораторией эффективного катализа Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
Вашурин Артур Сергеевич	д-р. хим. наук, заведующий НТЦ «Платиновый центр ИОНХ РАН»
Башмаков Владимир Иванович	кандидат химических наук, заведующий кафедрой неорганической химии Санкт-Петербургского государственного технологического института
Макаренко Сергей Валентинович	д-р. хим. наук, декан факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена
Анисимова Надежда Александровна	д-р. хим. наук, профессор кафедры органической химии РГПУ им. А. И. Герцена
Бойцова Татьяна Борисовна	д-р. хим. наук, заведующая кафедрой неорганической химии РГПУ им. А. И. Герцена
Гавронская Юлия Юрьевна	д-р. пед. наук, и.о. заведующего кафедрой химического и экологического образования РГПУ им. А. И. Герцена
Ефремова Ирина Евгеньевна	д-р. хим. наук, профессор кафедры органической химии РГПУ им. А. И. Герцена
Роговая Ольга Геннадьевна	д-р. пед. наук, профессор кафедры химического и экологического образования РГПУ им. А. И. Герцена

Партнеры конференции:

РХО
РОССИЙСКОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО ИМЕНИ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА ОСНОВАНО В 1868 Г.

Научный совет РАН по неорганической химии

Генеральный спонсор конференции:

WIGGENS
THE MAGIC MOTION

Содержание

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Башмаков В.И.
К 95-летию со дня рождения выдающегося ученого-химика в области химии координационных соединений Ю.Н. Кукушкина 19
Кукушкин В.Ю.
Нековалентные взаимодействия. Тонкая химия жизни, или когда слабое становится сильным 22
Буслаева Т.М.
Наброски к портрету профессора Ю.Н. Кукушкина 23
Жижин К.Ю.
Лиганды на основе кластерных анионов бора в координационных соединениях металлов 24
Кинжалов М.А.
Санкт-Петербургская школа координационной химии платиновых металлов 25
Ефимова Т.П., Ефремова И.Е., Борисов А.Н., Тихомирова И.Ю., Пелипко В.В., Гомонов К.А.
Учебно-методическая и внеучебная деятельность в реализации новой образовательной программы бакалавриата 04.03.01 – Химия, профиль «Аналитическая химия» 27
Исаева Е.И., Макаренко С.В.
Студенческие олимпиады и конкурсы как способ оценки и развития химических знаний обучающихся 29

СЕКЦИЯ 1. ОРГАНИЧЕСКАЯ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ, ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ

Акимова Е.С., Султанова Р.М.
Синтез *N*-замещенных оксазолидинов с потенциальной биологической активностью 32
Алексеева В.А., Румак А.В., Сараева Т.А., Дяченко В.Д.
Взаимодействие хинолина с 1,4-дибромбутаном 33
Бабаева Т.А., Мамедов Э.С., Мирзалиева С.Э., Мамедов С.Э.
Конверсия метанола в ароматические углеводороды на модифицированных цеолитах типа ЦВМ 34
Балалаева А.И., Подъячева Е.С., Афанасьев О.И., Чусов Д.А.
Всегда ли простые соли металлов и жёсткие условия реакции неселективны в каталитическом органическом синтезе? 36
Березняк Я.С., Султанова Р.М.
Синтез тиазолов содержащих циклоацетальный фрагмент 37
Богданова В.Е., Мухина Е.С.
Исследование активности альфа-амилазы слюны при психоэмоциональном напряжении 38
Булгакова Е.В., Егоров Д.М.
Реакция 1,3-диполярного циклоприсоединения к фосфорилированным алкинам азометинилидов на основе изатина 39
Войнов В.А., Борисова Ю.Г., Раскильдина Г. З.
Синтез четвертичных аммониевых солей и их практическое применение 40

Ворожейкин М.И., Лукьянова А.А., Баринова Л.С., Даровских А.В., Михайлов Ю.М.
Исследование процесса получения водорастворимых нитратов α-, β- и γ-циклодекстринов 41
Герасимов Д.Р., Сафронова А.В., Ефремова И.Е.
Синтез сульфолан содержащих полициклов на основе нитросульфодиенов ряда тиолен-1,1-диоксида..... 43
Герасимова Е.А., Егоров Д.М
Синтез 2,5-замещенных 1,3,4 оксадиазолов 45
Глебова А.А., Алексеева Е.Д., Черкасова А.В., Анисимова Н.А.
Взаимодействие 1-бром-1-нитро-3,3,3-тригалогенпропенов с нингидрином и саркозином 46
Голохвастова В.И., Родионов А.Н.
Ферроценилзамещенные хинолины и их биологическая активность 47
Гордунов Г.А., Минеева И.В.
Синтез строительного блока феромона яблоневой плодожорки *Epiphyas Postvittana*..... 48
Гурбанова У.Р., Нагиев А.В., Агамалиев З.З., Мамедов Ф.Ф.
Синтез метилциклогексилбензиламинов – антиоксидантов к моторным маслам М-8 50
Демчук З.А., Озерова О.Ю., Макаренко С.В.
Синтез фурансодержащих фуронафтохинонов..... 52
Егорова А.Р., Братчикова В.Д., Ефремова И.Е.
Синтез динитросульфодиенов и их реакции с нулеофилами 53
Жамбеева И.М., Тихонов С.И., Грин М.А.
Изучение фотоизомеризации бензоксимов нитропроизводных природных хлоринов..... 54
Зиядуллаев М.Э., Нурманов С.Э., Нурбоев Дж.О., Аблокулов Л.К.
Реакции присоединения 4-аминофенилацетилена к ароматическим альдегидам в присутствии Rh (II) катализатора 55
Ибрагимова Я.И., Говди А.И.
Синтез пиразолсодержащих полициклических соединений 56
Игнатьева Е.М., Кулешов А.В., Андреев И.А., Ратманова Н.К., Иванова О.А., Трушков И.В.
Донорно-акцепторные циклопропаны с диалкоксифосфорильной группой в качестве акцептора: синтез и свойства 57
Искендерова А.А., Мамедов Э.С., Гахраманов Т.О., Мамедов С.Э.
Селективное алкилирование бензола метанолом и этанолом на La/P модифицированных цеолитах ZSM-5 58
Кадашева Ж.К., Наукенов М.Ж.
Структурно-реологические принципы формирования устойчивых битумных герметиков с полимерно-волоконным армированием..... 60
Кароткевич Е.И., Тихонов С.И., Грин М.А.
Синтез аминооксибензолсодержащих производных хлоринов для применения в тераностике 62
Картава Ю.С., Тандаре Т.Ф., Зотов В.В., Погорилый В.А., Грин М.А.
Синтез и изучение фотофизических свойств производных природных хлоринов с модифицированным экзоциклом Е 63

Колчин Д.В., Путис С.М.
Получение и оценка биологической активности гетероциклических производных 3,5-динитробензойной кислоты 64
Корлякова П.А., Ковтун И.Д., Седуш Н.Г.
Получение узкодисперсных полимерных микрочастиц различной морфологии на основе биоразлагаемых полимеров с использованием микрофлюидной технологии для создания систем контролируемой доставки лекарственных средств 66
Коршунов А.А., Макаров Г.И., Кадашева Ж.К., Наукенов М.Ж., Имангалиева А.У.
Система на основе полипропилена и пропилгаллата: реологические свойства 68
Крылова М.А., Волков Е.С., Захаров А.В., Кожевникова Е.С., Ширинян В.З.
Синтез и фотохимия орто-бигетарилхалконов нафтофуранового ряда..... 69
Кудашева А.С., Халеев В.С., Холина С.И., Лютова Ж.Б.
In silico оценка взаимодействия лактоферрина с низкомолекулярными лигандами в контексте ранозаживляющих композиций 70
Кухарчик Н.М., Лишай А.В.
Оценка токсичности *N*-этилпентилона методами компьютерного моделирования. 72
Ларин А.Н., Демидов О.П., Авакян Е.К., Побединская Д.Ю., Ермоленко А.А., Ермоленко А.П., Боровлев И.В.
Синтез ряда имидазохинолинов на основе восстановительной циклизации *орто*-алкиламинопроизводных нитрохинолинов 74
Леонова В.Б., Тихонов С.И., Грин М.А.
Синтез и изучение хинолиновых производных в качестве ингибиторов онкомишеней кинуренинового пути 75
Лифаренко А.С., Тихонов С.И.
Синтез производных бензоксимов природных хлоринов 76
Маланьин А.А., Никитина П.А., Басанова Е.И.
Синтез производных 2-(4-аминофенил)имидазола..... 77
Мамедов Э.С., Бабаева Т.А., Мамедов С.Э., Мирзалиева С.Э., Бабаев Э.М.
Конверсия метанола в олефиновые углеводороды C2-C4 на La-модифицированном деалюминированном цеолите HZSM-5 79
Керимли Ф.Ш., Маммадова Х.М., Мамедов С.Э.
Конверсия биоэтанола в углеводороды в присутствии биметаллического Ni–La/HZSM-5 катализатора..... 80
Мамонова Е.А., Сачкова А.А., Щегравина Е.С., Федоров А.Ю.
Синтез пептидомиметиков в качестве лигандов для белков ингибиторов апоптоза (IAP)..... 82
Мамонтов М.А., Ильин А.В.
Фосфин-катализируемое присоединение азотсодержащих гетероциклов к электронодефицитным алкинам 84
Масленченко А.Ю., Меткалова А.Д., Мирошников В.С.
Синтез олигомерных красителей на основе желтых гидразонных азокрасителей... 85

Матвиенко Э.Р., Погребняк А.В., Ерохина Б.Н., Жилин Н.Г.
Цифровое моделирование механизма действия солнцезащитных фильтров с привлечением методов расчета геометрической и электронной структуры молекул 87
Мезенцев И.А., Друзина А.А., Сиваев И.Б., Брегадзе В.И.
Синтез и изучение биологических свойств флуоресцентных конъюгатов полиэдрических гидридов бора с BODIPY для применения в бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) рака 88
Минаева В.Ю., Озерова О.Ю., Макаренко С.В.
Особенности взаимодействия фурансодержащих *гем*-бромнитроэтенов с СН-кислотами 89
Михеев Н.А., Басанова Е.И., Никитина П.А.
Синтез потенциально анти-ортопоксвирусных 2-(2-арилэтенил)имидазолов 91
Москва В.В., Мирошников В.С., Масленченко А.Ю.
Синтез новых соединений, обладающих фотохромными свойствами 93
Нагиева М.В., Алиева-Пашаева К.Ш., Расулов Ч.К., Гаджиева Г.Ф.
Пространственно-затруднённые фенолы в качестве стабилизаторов полиуретаного полимера 95
Нгуен Т.К., Кинжалов М.А.
Палладий- и никелькатализируемые превращения изоцианидов в синтезе азотсодержащих гетероциклов 97
Никитченко Е.Д., Родионов А.Н.
Синтез и оценка противоопухолевой активности новых ферроценмодифицированных пиразоло[1,5-α]пиримидинов 99
Никтаров А.С., Митянов В.С.
Новый метод некаталитической С-Н функционализации N-оксидов азолов 100
Новиков М.А., Безнаева О.В., Тверитникова И.С., Кирш И.А.
Химическая модификация хитозана наночастицами серебра 101
Погорилый В.А., Картава Ю.С., Шипулина Н.А., Домашова А.Е., Зотов В.В., Павлова П.А., Грин М.А.
Разработка стратегий синтеза производных природных хлоринов с аннелированными гетроциклами, содержащими различные гетероатомы, и исследования их спектральных свойств 103
Пузырьков А.А., Степаков А.В.
Одностадийный синтез спироциклических барбитуратов на основе 1,3-диполярного циклоприсоединения 104
Розин Д.И., Пелипко В.В., Гомонов К.А.
Взаимодействие 1-арил-3-нитропроп-2-ен-1-онов с пентан-2,4-дионом 106
Сенченков А.Р., Антонычев Г.И., Титов Г.Д., Ростовский Н.В.
Реакции оксимов и диазосоединений в синтезе нитронов и их превращение в пирроло[1,2-*c*]хиназолины 107
Синицына Т. М., Апрятина К. В., Смирнова О.Н.
Бактерицидные биоразлагаемые пленки на основе крахмала и полигексаметиленгуанидин гидрохлорида 108
Сонин Н.О., Егоров Д.М.
Синтез и свойства азопроизводных циануксусного эфира 109
Сосновенко К.И., Колчин Д.В., Путис С.М.
Альтернативный способ получения 4,6-диокси-2-метилпиримидина 110

Таран Е.В., Озерова О.Ю., Макаренко С.В.
Взаимодействие фурансодержащих *гем*-бромнитроэтенов с гидразидами ароматических карбоновых кислот 111
Тихонов С.И., Жамбеева И.М., Кароткевич Е.И., Лифаренко А.С., Мартынов Л.Ю., Грин М.А.
Фотопереключаемые тераностики на основе бензоксимов природных хлоринов ... 112
Уланова Е.С., Тихонов С.И., Грин М.А.
Разработка флуоресцентных ингибиторов гистаминовых рецепторов и подхода к оценке их связывания в клеточных системах 113
Франтов Д.И., Минеева И.В.
Синтез новых 1,3,5-триарил-2-пиразолинов с галогенциклопропильными фрагментами 114
Халеев В.С., Лютова Ж.Б.
In silico оценка взаимодействия 1,3-β-D-глюканов с белком врожденного иммунитета – дектином-1 116
Хамидов Т.А., Остроглядов Е.С., Васильева О.С.
N'-(2-оксоиндолин-3-илиден)-2-пирролидон-5-карбогидразиды: синтез и строение 118
Хомяков Т.Д., Поливановская Д.А., Бирин К.П., Цивадзе А.Ю.
Синтез и фотокаталитическая активность β-имидазолилпорфиринов – перспективных катализаторов фотоокисления органических сульфидов 119
Хромова М.И., Кузнецов Д.Н., Писарев Д.И., Бабкин И.Ю.
Новые дейтерированные моноазосоединения на основе фенолов, содержащих дидейтерометильную группу 121
Чекалина С.В., Кирш И.А., Альхаир А.Я., Тверитникова И.С.
Влияние модификации полиэтиленовой матрицы дигидрокверцетином на его свойства 123
Черкасова А.С., Егорова А.В., Фокин М.И., Зарипова Ф.Ф., Пилип А.Г., Бикбаева Г.И., Колесников И.Е., Маньшина А.А.
Синтез и исследование оптического влияния на мультитаргетную биологическую активность стирилфосфонатов 125
Черняк Д.М., Котовщиков Ю.Н., Латышев Г.В., Лукашев Н.В., Белецкая И.П.
5-Иод-1,2,3-триазолы как предшественники производных гидразина 126
Шерендова В.Е., Масленченко А.Ю., Мирошников В.С.
Синтез и исследование фотохромных олигомерных соединений на основе спиропиранов, содержащих карбоксильные группы 128
Шестухина С.М., Ефремова И.Е.
Нитротиолендиоксид и его производные в реакциях с бинуклеофилами 130
Шипулина Н.А., Павлова П.А., Погорилый В.А., Грин М.А.
Дизайн фосфорсодержащих производных природных хлоринов для применения в ФДТ 131
Шлапакова Л.Е., Мухортова Ю.Р., Сурменева М.А., Сурменев Р.А.
Антибактериальные волокнистые каркасы поли(3-оксибутирата), модифицированные полидофамином 132
Юлбарисов А.Б., Габдуллин А.М., Кадикова Р.Н., Рамазанов И.Р.
Окислительная димеризация пиридина под действием $TaCl_5$ и Mg 134

Яковлев В.В., Хиль А.М., Гостев А.И., Сивцов Е.В.
Контролируемой (RAFT) полимеризации для применения в качестве средств доставки лекарств 135
Яковлева П.А., Бенедиктов П.М., Новикова Д.С., Ворона С.В.
Разработка one-pot синтеза алкильных производных бензотиазола как полупродуктов для флуоресцентных клеточных красителей 137

СЕКЦИЯ 2. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ, КООРДИНАЦИОННАЯ ХИМИЯ И НАНОХИМИЯ

Андреева А.С., Тикиджи М.В., Туполова Ю.П., Щербаков И.Н.
Роль электронных и геометрических факторов в формировании магнитной анизотропии комплексов 3d-металлов на основе 2,6-диацетилпиридина 139
Антонова Э.В., Кинжалов М.А.
Циклометаллированные комплексы платины(II) с изоцианидными и ациклическими диаминокарбеновыми лигандами как высокоэффективные люминофоры 141
Варваринская С.Е.
Влияние строения пиразолил-метанатных лигандов на структуру и свойства β-дикетонатных комплексов Ag(I) 143
Васильева М.А., Исаева Е.И.
Синтез и люминесцентные свойства волокнистых наноструктур $CePO_4$:Tb 145
Гогунов М.Е., Никитин А.П., Пулялина А.Ю.
Транспортные свойства гибридных мембран на основе полилактида, содержащих звездообразные полимерные наполнители 147
Гудкова С.А., Шрамков Е.А., Зирник Г.М., Живулин Д.Е., Винник Д.А.
Влияние замещения марганцем гексаферритов бария на структуру и приповерхностный слой керамики 148
Гусак М.Ю., Кинжалов М.А.
Галогенидные комплексы иридия(III) с изоцианидными лигандами 149
Дансоко С., Банда Д., Бузько В.Ю., Сухно И.В., Полушин А.А.
Влияние метода синтеза на агрономические свойства наночастиц ZnO 151
Дидык А.А., Сухорукова В.А., Лактюшина Д.П., Абрашов А.А.
Бесхроматная пассивация оцинкованной стали в Ti, Zr-содержащих растворах 152
Жованик Ю.В., Волгина Л.О., Денисенко Ю.Г.
О механизме твердофазного образования сложных оксидов Eu_2MeO_6, $Eu_2Me_2O_9$ (Me – Mo, W) 153
Зирник Г.М., Чернуха А.С., Винник Д.А.
Синтез наночастиц оксида индия-галлия-цинка для применения в печатной электронике 155
Игонин А.С., Чернова У.Д., Левченко Д.С., Байчурин Р.И., Годовиков И.А., Исаева Е.И.
Влияние объемного заместителя в азометиновом фрагменте комплексов палладия(II) с семикарбазонами на их каталитическую активность в реакции сузуки-мияуры 157
Комова П.В., Кинжалов М.А.
Исследование галогенных связей в супрамолекулярных системах на основе аддуктов бис-изоцианидных комплексов платины(II) $[PtI_2(CNR)_2]$ с молекулярным иодом 159

Кузнецова С.А., Жованик Ю.В.
Сольвотермальный синтез Eu_2MeO_6 (Me = Mo, W) 161
Кузнецова П.С., Тарутина Л.Р., Медведев Д.А.
Транспорнтные свойства самогенерирующегося коспозитного материала на основе феррита бария 162
Левченко Д.С., Игонин А.С., Байчурин Р.И., Исаева Е.И.
Синтез, строение и свойства комплекса палладия(II) с (2*E*)-2-[1-(4-аминофенил)этилиден]гидразон-1-карботиоамидом 164
Оботнина М.А., Маркарян А.А., Соколов И.А., Бобрышева Н.П., Осмоловский М.Г., Осмоловская О.М., Вознесенский М.А.
Колористические свойства и электронное строение новых пигментов на основе наночастиц бёмита 165
Мирзаалиев Т.О., Занин А.А.
Электронно-лучевая полимеризация элементного фосфора в воде и в этаноле..... 166
Пахолков К.Р., Богданова Е.В., Стогний М.Ю., Сиваев И.Б.
η^5:κ^2(N, R)-координированные полусэндвичевые комплексы никеля с производными *нидо*-карборана: роль донорной группы в формировании координационной сферы 167
Петрова Д.А., Смирнова Е.А.
Полимерный комплекс поли-[Pd(MeOSaltmen)] как перспективный материал для фотоэлектрохимических преобразователей солнечной энергии..... 169
Подурец А.А., Агапов И.В., Маркарян А.А., Бобрышева Н.П., Осмоловский М.Г., Вознесенский М.А., Осмоловская О.М.
Влияние допирования на структуру и фотокаталитические свойства наночастиц SnO_2 170
Полигенько А.В., Осипов К.М., Рубан Е.А., Шапоренков А.А., Душик В.В.
Метод химического осаждения из газовой фазы для получения покрытий на основе соединений тройной системы W-C-B..... 171
Рачис М.В.
Смешаннокарбоксилатные комплексы Eu с анионами монокарбоновых кислот: синтез, строение и исследование влияния второго типа аниона на фотолюминисцентные свойства 173
Рихтер Э.А.
Осаждение эмиссионных слоев MgF_2 методом MOCVD..... 175
Романов А.С, Каткова С.А.
Синтез бис-циклометаллированных комплексов платины(IV) 177
Сизова А.А., Исаева Е.И.
Каталитическая активность фотохимически модифицированного наночастицами серебра диоксида титана 178
Совенко П.С., Исаева Е.И.
Каталитическая активность нанокомпозитов CeO_2/Ag в реакциях окисления сажи 179
Солобоева Т.П., Дабижа О.Н.
Кристобалитизация кварца при механической активации клиноптилолит-K/Na-гидрофосфатной смеси 180
Сухорукова В.А., Баранова В.А., Колесникова А.В., Абрашов А.А., Дидык А.А., Лактюшина Д.П.
Бесхроматная пассивация серебра и лужёной жести в растворах на основе гексафторциркониевой кислоты..... 182

Телятников В.Б., Семенов С.А.
Синтез наноразмерного ортоферрита лютеция методом термолиза цитратов 184
Чернова У.Д., Игонин А.С., Байчурин Р.И., Исаева Е.И.
Синтез и структура координационных соединений семикарбазонов с Pt(II) 185
Якупов Р.П., Банда Д., Сариман Д., Бузько В.Ю., Сухно И.В., Полушин А.А.
Влияние метода синтеза на агрономические свойства оксидных наноматериалов . 187

СЕКЦИЯ 3. ФИЗИЧЕСКАЯ И КВАНТОВАЯ ХИМИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ХИМИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Богдашкина А.М., Сологубов С.С., Маркин А.В.
Калориметрическое изучение бенз[*a*]пирена 189
Галеева А.И., Фам Л., Косенко А.И., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г.
Лиотропные среды на основе неионного поверхностно-активного вещества допированные парамагнитными квантовыми точками для транспорта лекарственного средства 191
Галкина А.С., Бабешкин К.А., Петросянц С.П., Ефимов Н.Н.
Экспериментально-теоретическое исследование механизма релаксации в комплексах лантаноидов с тропололоном 192
Исмайлова С.Б., Ахмедова Н.Ф., Мамедова А.З., Мамедов С.Э.
Каталитические свойства биметаллического катализатора на основе цеолита ZSM-5 в реакции метилирования толуола 194
Исхаков А.Ф., Романова К.А., Галяметдинов Ю.Г.
Применение нейронных сетей для распознавания фазовых состояний жидких кристаллов *n*-нонилоксибензойной кислоты 195
Краснопёров А.И., Пестов С.М.
Термодинамическое моделирование систем жидкие кристаллы – бинарные растворители 196
Ксенофонтов Н.А., Занин А.А.
Влияние состава реакционной среды на радиационно-химический выход электронно-лучевой полимеризации элементного фосфора 197
Меламед Т.Б, Каплин А.А., Ефремов Е.В., Баберкина Е.П., Юдин Н.В., Якушин Р.В.
Спектрометрия ионной подвижности нитропроизводных бензола 198
Румянцева Л.А., Москаленко И.В., Золотовский К.А.
Гидропероксильные радикалы (HOO·) в органических системах: квантово-химическое исследование механизма рекомбинации 200
Соколова Е.С., Алексеев В.Г.
Экспериментальное исследование и DFT расчёт структуры металлокомплексов цефазолина 201

СЕКЦИЯ 4. АНАЛИТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Акимова А.И., Редькин Н.А., Онучак Л.А.
Построение аналитических профилей для прогнозирования состояния водоемов.. 203
Алексеев Д.В., Тихомирова И.Ю., Панова Е.Г
Химическое выветривание бетона взлетно-посадочной полосы 204
Банда Д., Дансоко С., Бузько В.Ю., Сухно И.В., Полушин А.А.
Исследование влияния оксидных наночастиц на рост томатов 206
Григорьевский Я.М., Тихомирова И.Ю., Панова Е.Г.
Физико-химические особенности шунгита онежской структуры..... 207
Дорохова А.А., Кутяшева Н.В., Лиходумова И.Н.
Особенности содержания общего гумуса в черноземных почвах России 209
Дурбажев Е.В., Давыдова Е.Г., Шишов А.Ю.
Оптимизация методики определения антиоксидантной активности экстрактов лекарственных трав, полученных с помощью глубоких эвтектических растворителей..... 211
Зайцева А.А.
Исследование хлорофиллов растений комбинированным экспресс-методом с использованием прибора Дуалекс..... 212
Каниболоцкий Н.Ю., Сорвин М.И.
Твердоконтактные потенциометрические сенсоры на основе поли(нильского синего), электрополимеризованного из глубоких эвтектических растворителей.... 214
Карагузина К.Р., Стойков Д.И.
Биосенсор на основе углеродных волокон для определения алкилирующих и интеркалирующих агентов, взаимодействующих с ДНК 215
Карипова Д.Р., Лодянов Ю.О., Почивалов А.С., Булатов А.В.
Микроэкстракционное извлечение пенициллинов в супрамолекулярный растворитель на основе кокоилглутамата натрия для их последующего хромато-масс-спектрометрического определения в молоке..... 216
Кузин Ю.И.
Электрохимические сенсоры для определения хлорпромазина на основе структурно родственных модификаторов электрода 217
Мирская Е.И., Давыдова Е.Г., Шишов А.Ю.
Исследование возможности сорбционного и мембранного выделения биоактивных соединений из модельных систем: глубокий эвтектический растворитель-биоактивные вещества..... 218
Новикова М.А., Тихомирова И.Ю., Панова Е.Г.
Закономерности формирования почвенного профиля на коренных породах о. Валаам 219
Протасов И.Д., Давыдова Е.Г., Шишов А.Ю.
Применение эвтектических растворителей на основе бетаина для извлечения биоактивных соединений из *Salvia Sclarea L.*..... 221
Рахманин К.С., Садомцева О.С., Шакирова В.В.
Новый сорбент на основе опок астраханской области..... 222
Романенко А.О., Федорова Е.Ю., Дорохова А.А., Кутяшева Н.В
Распределение подвижного алюминия в горизонтах дерново-подзолистых и дерново-подбурых почва..... 223

Серебрякова Я.В., Давыдова Е.Г, Шишов А.Ю.
Оптимизация извлечения биоактивных веществ из представителей семейства *Rosaceae* природными эвтектическими растворителями на основе сахаров 225
Серебрянникова К.С., Кутяшева Н.В.
Сравнительный анализ методик определения кремния в почве..... 226
Силина Е.Д., Карагузина К.Р., Стойков Д.И.
Электрохимическая проточная сенсорная система на основе углеродной вуали и сульфаниламидного производного пиллар[5]арена для определения общей антиоксидантной емкости 228
Тетеркин В.А., Давыдова Е.Г, Шишов А.Ю.
Разработка методики экстрагирования биоактивных веществ из листьев *Amaránthus* с использованием биосовместимых эвтектических растворителей 230
Толстов М.А., Занин А.А.
Разработка цифрового инструмента для сравнительной оценки экологической эффективности химических синтезов 231
Федорова Е.Ю., Кутяшева Н.В.
Некоторые особенности фотометрического определения Al^{3+} с ксиленоловым оранжевым в почвах..... 233
Хохоев Т.Э, Дзуцев А.А., Бигаева И.М.
Определение содержания сульфидов, карбонатов и галогенидов в природных минеральных водах 235
Шишаева С.М., Николаева А.Д., Логинов С.В.
Особенности формирования волластонита 236
Яковлюк Р.О., Зима С.А., Михрячев О.И., Новиков М.А., Чекалина С.В.
Применение экстракционных моделей в химико-экологическом анализе 237
Яцышина В.С., Шишов А.Ю., Низов Е.Р.
Изучение мешающего влияния глубоких эвтектических растворителей при фотометрическом определении флавоноидов в растительных экстрактах 239

СЕКЦИЯ 5. ХИМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ, МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ХИМИИ

Багавиева Т.К., Качалова Г.С., Якубовская Т.К., Шаталов Е.В.
Педагогический потенциал интерактивных заданий по химии: сравнение подходов и результатов 241
Возняк Е.М., Крылатова Я.Г.
Использование цифровых инструментов для повышения интереса учащихся на уроках химии с элементами патриотического воспитания..... 243
Бойцова Т.Б., Голик И.А., Горбунова В.В.
Особенности химических реакций в твердой фазе..... 245
Джуманиязова С.Н., Орлова И.А.
Патриотическое воспитание на уроках химии в современной школе 246
Симеониди Д.Д., Бигаева И.М., Дзитиев Г.В.
Конкурс проектов как инновационная форма обучения студентов (на примере конкурса «PRO-Креатив» ФЕНиТ СОГУ имени Коста Левановича Хетагурова).. 247
Костина Э.С.
Интеграция вопросов фармакологии во внеурочную деятельность по химии 249
Кушакова А.И.
Волновая теория строения атома шрёдингера в преподавании общей химии..... 251

Матвиенко Э.Р., Албагачиева Р.Б., Гасратова А. Ж., Мурзаканова Д.Ю.
Влияние интерактивной 3D-визуализации белков на понимание механизмов ферментативного катализа 253
Бигаева И.М., Печеная В.А., Муриева Л.Э.
Искусственный интеллект в химическом образовании: проблемы использования 255
Паршина М.М.
Природные соединения в заданиях ЕГЭ и олимпиад 257
Притчина Т.А., Селиверстова И.В.
Некоторые аспекты использования элементов искусственного интеллекта в процессе обучения химии в средней школе 259

МАГИСТРАТУРА ФАКУЛЬТЕТА ХИМИИ РГПУ им. А. И. ГЕРЦЕНА

Факультет химии осуществляет подготовку студентов в магистратуре по направлению «Химия» с 2001 года и по направлению «Педагогическое образование» с 1998 года.

В 2026 году факультет химии осуществляет прием в магистратуру на бюджетные места по направлениям:

1. «**04.04.01 Химия**», *магистерская программа*: «*Фундаментальная и прикладная химия*».

2. «**44.04.01 Педагогическое образование**», *магистерская программа* «*Инновационные технологии обучения химии в общем, профессиональном и дополнительном образовании*».

Вступительное испытание в магистратуру, как по направлению «Химия», так и по направлению «Педагогическое образование» – письменный экзамен по химии.

ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ФАКУЛЬТЕТА ХИМИИ РГПУ им. А. И. ГЕРЦЕНА «Физико-химические методы исследования нитросоединений, координационных, биологически активных веществ и наноструктурированных материалов»

Специализация:

Фундаментальные и прикладные исследования объектов неорганической, физической и органической химии, в том числе наноструктурированных, современными физико-химическими методами исследований.

Основные направления деятельности:

- Исследовательские работы по изучению соединений различной природы, включая работы по определению состава многокомпонентных смесей, с использованием методов ИК, УФ, ЯМР спектроскопии, ВЭЖХ и элементного анализа.
- Экспериментальные работы по проведению синтезов в микро- и макроколичествах с использованием микроволнового излучения.
- Обучение (стажировка) персонала аналитических лабораторий с демонстрацией оборудования, а также консультации в области оснащения лаборатории спектральных методов анализа.

Оборудование:

ЯМР-спектрометр Jeol ECX400A (400 МГц)
ИК-спектрометр с Фурье-преобразованием, Shimadzu «IRPrestige-21»
УФ-спектрофотометр Shimadzu UV2401PC
Жидкостной хроматограф Shimadzu LC-20 «Prominance»
Синхронный термоанализатор NETZSCH STA 449F3 Jupiter
Спектрофлуориметр RF-6000 Shimadzu
Элементный анализатор Eurovector (серия EA 3000)
Микроволновой реактор Milestone MicroSYNTH
Весы аналитические Shimadzu AUW-220

Работу приборов обеспечивают два специалиста (кандидата химических наук).
Телефон: (812) 571-38-00; kohRGPU@yandex.ru; www.kohrgpu.ru, http://ckpo.org.ru/

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ!

Сборник издается при поддержке внутренних грантов РГПУ им. А. И. Герцена (проекты № 68-ВГ и № 72-ВГ).

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЫДАЮЩЕГОСЯ УЧЕНОГО-ХИМИКА В ОБЛАСТИ ХИМИИ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ Ю.Н. КУКУШКИНА

Башмаков В.И.

СПбГТИ(ТУ), Санкт-Петербург

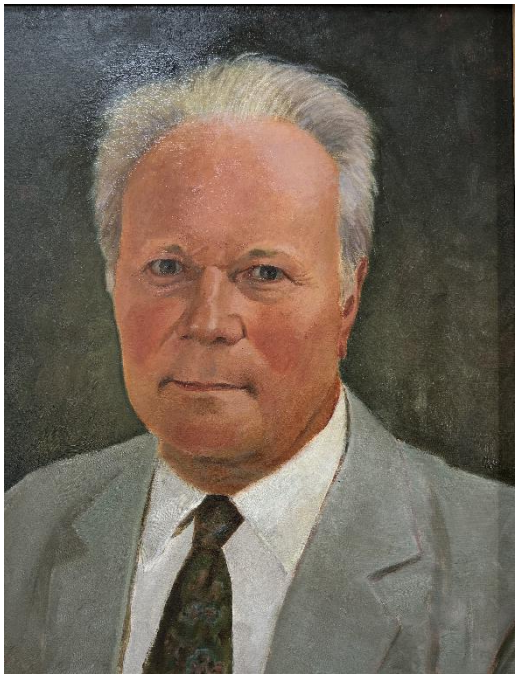
vla12485731@yandex.ru

В 2026 году исполняется 95 лет со дня рождения советского и российского химика-неорганика доктора химических наук, профессора, лауреата премии имени Л.А. Чугаева, заслуженного деятеля наук Российской Федерации, действительного члена, председателя секции координационной химии Научного совета по проблемам неорганической химии РАН, председателя Регионального совета по химии Госкомитета по высшей школе РФ **Юрия Николаевича Кукушкина.**

Ю.Н. Кукушкин является создателем собственной научной школы «Химии комплексных соединений платины». Его научная школа родилась не на пустом месте, а стала продолжением и дальнейшим развитием отечественной научной школы в области химии комплексных соединений Л.А. Чугаева – основателя и первого директора (с 1918 г.) «Института по изучению платины и других благородных металлов». После кончины Л.А. Чугаева и переезда Президиума АН СССР в Москву в 1934 году Институт платины вошёл в состав ИОНХа – произошло разделение Чугаевской научной школы на две ветви: московскую и ленинградскую. Центром московской школы во главе с академиком И.И. Черняевым стал ИОНХ АН СССР, а центром ленинградской – Технологический институт, где с 1937 года по 1966 год плодотворно трудился академик А.А. Гринберг. Ученики А.А. Гринберга: Д.И. Рябчиков и Б.В. Птицын стали членами-корреспондентами АН СССР, В.Е. Миронов возглавил кафедру физической и аналитической химии в ЛГПИ, Г.А. Шагисултанова – кафедру неорганической химии в ЛГПИ, А.И. Стеценко – кафедру аналитической химии в ЛХФИ, где создали свои школы координационной химии. Наибольший вклад в развитие наследия А.А. Гринберга был внесён его учеником Ю.Н. Кукушкиным.

Ю.Н. Кукушкин родился в Ленинграде в 1931 году, в 1954 г. с отличием окончил Ленинградский технологический институт и после этого там же работал лекционным ассистентом А.А. Гринберга на кафедре Неорганической химии. В 1958 г. он защитил кандидатскую диссертацию по теме «Кинетические исследования реакций замещения в некоторых соединениях Pt(II). О взаимном

влиянии координированных групп» и после защиты диссертации (с 1958 г.) работал научным сотрудником Радиевого института им. В.Г. Хлопина. В 1964 г. защитил докторскую диссертацию по теме «Реакционная способность аминов, координированных во внутренней сфере комплексных соединений».



С 1964 г. Юрий Николаевич заведовал кафедрой неорганической химии Ленинградского государственного педагогического института имени А. И. Герцена. В 1966 г. после смерти А.А. Гринберга стал заведующим кафедрой Неорганической химии Ленинградского технологического института имени Ленсовета, где продолжил дело своего научного руководителя. Вся последующая деятельность Юрия Николаевича была связана с ЛТИ им. Ленсовета – одновременно с заведованием кафедрой он был деканом Химического факультета, а с 1990 г. директором Химического отделения Технологического института.

Став заведующим кафедрой Неорганической химии ЛТИ им. Ленсовета, Ю.Н. Кукушкин существенно модернизировал учебный процесс. В дисциплины «Теоретические основы неорганической химии» и «Неорганическая химия» введены современные теории строения атома и химической связи, элементы химической термодинамики, современные способы расчёта ионных равновесий, теория кристаллического поля лигандов и др. Совместно с П.Г. Антоновым впервые в стране дисциплина «Качественный анализ» была перенесена на 1-й курс и адаптирована для углублённого изучения химии элементов.

Развивая научное наследие А.А. Гринберга, Ю.Н. Кукушкин сделал существенный вклад в координационную химию платиновых металлов. Им было сформулировано правило термической изомеризации плоскоквадратных комплексов, выявлены закономерности термических превращений комплексных солей типа Магнуса и Вокелена и основные направления перегруппировки Андерсона. Большое внимание уделялось изучению проблемы реакционной способности координированных лигандов. Эти исследования вылились в изучение металлпромотируемых реакций, которые проводятся во многих лабораториях различных стран и связаны с проблемами гомогенного катализа и биологической активности комплексных соединений. Ю.Н. Кукушкин

подготовил 100 кандидатов и 5 докторов наук. Он является автором 700 научных публикаций, из них 28 монографий и 44 авторских свидетельств. Среди его публикаций наиболее важными являются «Химия координационных соединений» (1985 г.), «Реакционная способность координационных соединений» (1987 г.), «Теория и практика синтеза координационных соединений» (1990 г.), «Synthetic Coordination Chemistry. Principles and Practice" (совместно с В.Ю. Кукушкиным и коллегами из США, 1996 г.).

Страна высоко оценила достижения Ю.Н. Кукушкина в науке. Ему присвоено звание Заслуженный деятель науки Российской Федерации (26 июля 1994); за серию работ «Взаимное влияние лигандов координационных соединений он стал лауреатом Премии Л.А. Чугаева (1983 г.); за подготовку научных и педагогических кадров для республик СССР и зарубежных стран награждён Орденом Дружбы народов (1986 г.).

После кончины Юрия Николаевича (1998 г.) продолжателем научного направления Юрия Николаевича стал его сын Вадим Юрьевич Кукушкин ((род. 1956 г.) — академик РАН, доктор химических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета. Его собственная научная школа является ведущей как в России, так и за рубежом.

НЕКОВАЛЕНТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. ТОНКАЯ ХИМИЯ ЖИЗНИ, ИЛИ КОГДА СЛАБОЕ СТАНОВИТСЯ СИЛЬНЫМ

В. Ю. Кукушкин

Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

E-mail: v.kukushkin@spbu.ru

В последние годы наблюдается лавинообразный рост публикаций по межмолекулярным взаимодействиям. Несмотря на невысокую энергию, нековалентные взаимодействия действуют коллективно и играют значимую роль в химических превращениях, синтезе, катализе и кристаллохимическом дизайне функциональных материалов. Понимание природы нековалентных взаимодействий имеет фундаментальное значение для наук о жизни и биомедицины, поскольку эти взаимодействия лежат в основе молекулярного распознавания и функционирования биологических систем.

Нековалентные взаимодействия определяют структурную организацию биомолекул: водородные связи стабилизируют вторичную и третичную структуру белков, а водородные связи совместно с π-π стэкинг-взаимодействиями обеспечивают стабильность двойной спирали ДНК. Помимо классических ван-дер-ваальсовых сил и водородных связей, в современной координационной химии изучаются неклассические типы: галогенные, халькогенные и пниктогенные связи, реализующиеся через области положительного электростатического потенциала (σ-дырки). Природные системы эффективно используют нековалентные взаимодействия: ван-дер-ваальсовы силы обеспечивают адгезию у геккона, а галогенные связи с участием атомов йода реализуются в механизме рецепторного распознавания гормонов щитовидной железы.

В докладе будут рассмотрены и классифицированы типы нековалентных взаимодействий, а также систематизированы работы научной группы докладчика по изучению межмолекулярных взаимодействий (грант Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2024-553).

О докладчике: академик РАН, профессор СПбГУ, вице-президент Российского химического общества им. Д.И. Менделеева, почётный доктор Universidade de Lisboa и National Taiwan University of Science and Technology, иностранный член Национальной академии наук Португалии, действительный член European Academy of Sciences. Наукометрика: индекс Хирша 61 (Scopus), 10 100+ цитирований (без учёта самоцитирования).

НАБРОСКИ К ПОРТРЕТУ ПРОФЕССОРА Ю.Н. КУКУШКИНА

Буслаева Т.М.

МИРЭА-Российский технологический университет, Москва

buslaevatm@mail.ru

В 2026 году исполняется 95 лет со дня рождения выдающегося ученого нашего времени, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора химических наук, профессора Юрия Николаевича Кукушкина.

В настоящем докладе мне хотелось бы поделиться воспоминаниями об этом ученом, педагоге, превосходном лекторе, мастерски владевшем ораторским искусством, популяризаторе науки в высшем понимании этого слова, о его активной и успешной научно-организационной деятельности, без которой трудно представить себе жизнь научного сообщества ученых-платинистов во второй половине XX-го века.

Профессор Ю.Н. Кукушкин – ученый, признанный не только в нашей стране, но и за рубежом, труды которого внесли существенный вклад в развитие представлений о взаимном влиянии лигандов в координационных соединениях. Так, еще в 1957 году совместно со своим учителем, академиком А.А. Гринбергом, он сформулировал закономерность цис-влияния лигандов. Ю.Н. Кукушкиным установлено эмпирическое правило термической изомеризации плоско-квадратных комплексов Pt(II) и Pd(II), которое стало инструментом для направленного синтеза комплексов этих металлов в твердой фазе. Под его руководством выполнены пионерские работы по синтезу и исследованию диметилсульфоксидных комплексов рутения и многие другие.

Ю.Н. Кукушкин вел огромную научно-организационную работу, будучи членом Научного совета РАН по неорганической химии, а также членом президиума Совета по комплексной программе «Платиновые металлы», созданной в конце 1970-х годов при Минвузе Российской Федерации для координации исследований в области платиновых металлов, проводимых в высших учебных заведениях страны. Под руководством Юрия Николаевича и при его непосредственном участии в 1979 г. в Ленинграде было организовано XI Всесоюзное совещание по химии, анализу и технологии платиновых металлов, начиная с которого эти совещания стали именоваться Черняевскими, а затем в 1983 г. – Школа по платиновым металлам для молодых ученых в поселке Репино Ленинградской области.

Учебник Ю.Н. Кукушкина «Химия координационных соединений», вышедший 40 лет назад, не стареет. Все последующие учебные пособия по координационной химии уступают ему по простоте, четкости и ясности изложения. Он поистине является бестселлером, к которому и сегодня обращаются студенты, аспиранты, специалисты химики и химики-технологи.

ЛИГАНДЫ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНЫХ АНИОНОВ БОРА В КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЯХ МЕТАЛЛОВ

Жижин К.Ю.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, 119991, Москва Ленинский проспект д 31,

zhizhin@igic.ras.ru

Кластерные анионы бора являются ярким примером нетривиальных лигандов при участии которых могут образовываться различные типы координационных соединений.

В докладе основное внимание будет уделено комплексным соединениям, которые образуются при участии *клозо*-боратных анионов $[B_nH_n]^{2-}$ (n = 10, 12) и/или их замещенных производным с *экзо*-полиэдрическими связями B–X (X = N, O, S).

Координация атомом металла борсодержащего лиганда может осуществляться путем прямого связывания с кластером, так и за счет донорных групп *экзо*-полиэдрического заместителя. В докладе будет показано как природа металла влияет на состав и строение образующихся комплексных соединений. Кластерные анионы бора образуют моноядерные, биядерные и полимерные комплексы в реакциях с металлами, действующими как мягкие кислоты Пирсона (Cu(I), Ag(I), Pb(II), Hg(II)). Металлы, принадлежащие к промежуточной группе (Zn(II), Fe(II), Co(II), Ni(II), Cu(II), Mn(II)), образуют катионные комплексы с анионами кластеров бора в качестве противоионов. В присутствии металлов, действующих как жесткие кислоты (Fe(III), Co(III)), кластеры бора обычно выступают в качестве восстановителей. В ходе доклада будут продемонстрированы основные характеристики химической связи между атомом металла и кластерным лигандом с использованием анализа молекулярных орбиталей и распределения электронной плотности.

Одним из частных случаев координационных соединений на основе кластерных анионов бора являются золотые наночастицы, стабилизированные замещенными *клозо*-боратами с серосодержащими функциональными группами. Координация между атомом золота и кластерной системой реализуется за счет образования связи Au–S.

Заключительная часть доклада будет посвящена некоторым аспектам потенциального применения координационных систем на основе кластеров. Будут продемонстрированы как природа металла и борсодержащего лиганда влияет на люминесцентные, магнитные и противомикробные свойства целевых координационных систем. На примере золотых наночастиц, стабилизированных замещенными *клозо*-боратами, будут показаны способы получения мультифункциональных тераностических платформ и средств доставки препаратов для ^{10}B-нейтронозахватной терапии злокачественных опухолей.

Работа выполнена при финансовой проекта РНФ 24-13-00295.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ШКОЛА КООРДИНАЦИОННОЙ ХИМИИ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Кинжалов М.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

m.kinzhalov@spbu.ru

Российская история платиновых металлов неразрывно связана с Санкт-Петербургом. Именно на Монетном дворе в Северной столице в 1828 году были отчеканены первые в мире платиновые монеты — трёхрублёвые червонцы. Это было смелое финансовое решение: огромные запасы уральской платины, которая тогда не находила широкого промышленного применения, были превращены в монету, что позволило наполнить казну и стабилизировать экономику, подорванную Отечественной войной 1812 года.

Спустя ровно 90 лет, в 1918 году, в революционном Петрограде был создан Институт по изучению платины и других благородных металлов. Его основателем и первым директором стал Лев Александрович Чугаев — профессор Санкт-Петербургского университета, заложивший фундаментальные основы отечественной координационной химии. В своей докторской диссертации Лев Александрович сформулировал правило циклов (правило Чугаева), согласно которому наиболее устойчивыми являются комплексы с пяти- и шестичленными хелатными циклами — этот принцип стал краеугольным камнем химии внутрикомплексных соединений. Кроме того, важно отметить, что именно Л. А. Чугаевым впервые синтезирован карбеновый металлоорганический комплекс, предвосхитив одно из магистральных направлений современной металлоорганической химии. Его революционная концепция конструирования органических лигандов непосредственно в координационной сфере металла значительно опередила время и определила пути развития координационной химии на десятилетия вперёд.

В Санкт-Петербурге в стенах Института по изучению платины под руководством Чугаева и его учеников были разработаны суверенные технологии выделения и разделения редких элементов платиновой группы, жизненно необходимых молодой Советской России. Эти работы заложили фундамент советской платиновой промышленности. Сам Институт по изучению платины, впоследствии став частью Института общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН, превратился в колыбель отечественной химии комплексных соединений, сохранив петербургскую научную школу и после переезда в Москву.

Научные традиции школы координационной химии были продолжены и в самом Санкт-Петербурге. Среди ближайших учеников Л. А. Чугаева — выпускники Петербургского университета, ставшие гордостью отечественной науки. Академик АН СССР Илья Ильич Черняев установил закономерность транс-влияния (правило Черняева), которая определяет направление реакций замещения в комплексных соединениях и стала основой для их направленного синтеза. Впоследствии И. И. Черняев разработал промышленные методы аффинажа платины, выделения осмия и рутения, а с 1941 по 1962 год возглавлял ИОНХ АН СССР, в состав которого влился Платиновый институт. Академик АН СССР Александр Абрамович Гринберг заложил основы физической химии платиновых металлов, исследовав термодинамику и кинетику комплексообразования.

Профессор Юрий Николаевич Кукушкин в Ленинградском технологическом институте развивал химию платиновых металлов, подготовив плеяду учеников. Его дело продолжил сын — академик РАН Вадим Юрьевич Кукушкин, профессор Санкт-Петербургского государственного университета. Развивая традиции Чугаевской школы, В. Ю. Кукушкин внес фундаментальный вклад в металлоорганическую химию и химию нековалентных взаимодействий. Сегодня Санкт-Петербург остается одним из ведущих мировых центров изучения химии платиновых металлов, где бережно хранят и приумножают наследие великих предшественников.

В докладе будет рассказано о становлении Санкт-Петербургской школы координационной химии платиновых металлов, а также о некоторых направлениях исследований, проводимых в настоящее время.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ И ВНЕУЧЕБНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В РЕАЛИЗАЦИИ НОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ БАКАЛАВРИАТА 04.03.01 – ХИМИЯ, ПРОФИЛЬ «АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ»

***Ефимова Т.П.,* Ефремова И.Е., Борисов А.Н., Тихомирова И.Ю., Пелипко В.В., Гомонов К.А.**

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

kohrgpu@yandex.ru

Принимая во внимание действующую стратегию научного-технологического развития Российской Федерации, проблема подготовки высококвалифицированных кадров в области химии для промышленности и науки является важной задачей. Таким образом, исследование вопросов отбора содержания программ дисциплин в модуле «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» в условиях действующего ФГОС представляется актуальным [1]. На факультете химии РГПУ им. А. И. Герцена уже многие годы реализуется образовательная программа по направлению 04.03.01 Химия, профиль «Химия». С 2024 года эта образовательная программа была модернизирована под профиль «Аналитическая химия», что нам представляется более перспективным. Очевидно, что это потребовало решения ряда задач для формирования профессиональных знаний, умений и навыков будущих выпускников.

1. Создание новых УМК модуля «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» (27 з.е.) по следующим дисциплинам: Аналитическая химия, Экологическая химия и методы химико-экологических исследований, Методы атомной спектроскопии, Хроматографические методы анализа, Методы молекулярной спектроскопии, Электрохимические методы анализа.

2. Изменение, дополнение и обновление содержания дисциплин модуля «Основы химии» базовой части образовательной программы в рамках реализации профиля «Аналитическая химия».

3. Создание фонда оценочных средств проверки сформированности профессиональной компетенции студентов (ПК-2: организация, подготовка и проведение химического анализа объектов окружающей среды, неорганических и органических веществ и материалов).

4. Разработка новых программ практик (учебной, ознакомительной) для развития навыков практической деятельности студентов в области аналитической химии.

5. Создание новых учебно-методических пособий: «Титриметрические методы анализа: практикум», «Получение, свойства и идентификация органических соединений (контрольные работы): практикум», «Качественный

анализ органических и биогенных веществ: практикум», «Аналитическая химия. Качественный анализ: практикум».

6. Разработка серии мероприятий внеучебной деятельности для студентов и школьников в рамках реализации воспитательного компонента образовательной программы.

Практическая значимость создаваемого УМК модуля «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» заключается в исчерпывающем обобщении современного учебно-методического материала для организации учебного процесса по указанным дисциплинам, что определит базис современной подготовки бакалавра по направлению 04.03.01 Химия, профиль «Аналитическая химия». Овладение материалом данного модуля позволяет обучающимся получить знания теоретических основ аналитической химии и освоить практическое применение физико-химических методов анализа. Использование новых издаваемых методических пособий в учебном процессе способствует формированию полноценного комплекса компетенций, необходимых для специалистов по профилю «Аналитическая химия».

В рамках реализации воспитательного компонента образовательной программы предусмотрено дополнение содержания программ учебных дисциплин для студентов и программ внеучебных занятий для школьников познавательными материалами о вкладе российских ученых в развитие аналитических методов отечественной науки и промышленности. Предполагается также создание лабораторного курса внеучебной деятельности для школьников, обучающихся в Технопарках и Кванториумах.

В целом, планируемый перечень мероприятий по разработке учебно-методического комплекса новой образовательной программы бакалавриата 04.03.01 – Химия, профиль «Аналитическая химия» и созданию программ внеучебной деятельности студентов и школьников демонстрирует эффективную работу факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена по совершенствованию и развитию образовательных программ разного уровня.

Список литературы

1. Вершинин В. И., Власова И. В., Починок Т. Б., Чернова Р. К. // Ж. аналит. химии. 2014. Т. 69. № 9. С. 999. DOI 10.7868/S0044450214090138.

Работа выполнена в рамках внутреннего гранта РГПУ им. А. И. Герцена (проект № 72-ВГ).

СТУДЕНЧЕСКИЕ ОЛИМПИАДЫ И КОНКУРСЫ КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ И РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Исаева Е.И., ***Макаренко С.В.***

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

isaevae@herzen.spb.ru

Основная цель студенческих олимпиад и конкурсов по химии – выявление и поддержка одаренной и мотивированной молодёжи, углубление химических знаний, а также повышение качества химического образования.

Из основных задач студенческих олимпиад можно выделить следующие: определение уровня подготовки обучающихся в области химических наук, стимулирование их к углубленному изучению предмета, предоставление возможности применения полученных теоретических знаний на практике.

Олимпиадное движение факультета химии РГПУ им. А. И. Герцена является неотъемлемой частью студенческой жизни, в рамках Студенческого Научного Общества (СНО факультета химии), при этом привлечение обучающихся к участию в олимпиадах и конкурсах реализуется с первых курсов.

Учебные планы направлений подготовки 04.03.01 Химия (профиль «Аналитическая химия») и 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями, «Химическое образование и информационные технологии», «Химия и биология») содержат все необходимые дисциплины химической тематики, правда, распределенные по курсам. Так, например, на первом курсе реализуется «Общая химия» и «Основы химической безопасности», на втором и третьем курсах появляются «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», а также «Физическая химия», «Органическая химия» и «Коллоидная химия». Учитывая такую картину, для студентов, участвующих в олимпиадах и конкурсах, начиная с первого курса, организуются дополнительные подготовительные занятия (два раза в неделю по 1,5 академических часа), которые проводят студенты старших курсов, аспиранты и преподаватели факультета.

Таким образом создаются благоприятные условия, позволяющие уже более 15 лет студентам начальных курсов принимать участие в Открытой международной интернет-олимпиаде по химии по двум уровням «Специализированный» и «Техника и технологии», каждый год занимая призовые места.

С 2017 года факультет химии РГПУ им. А. И. Герцена выступает организатором Всероссийской олимпиады по общей химии для студентов 1 и 2 курсов и Герценовской внутривузовской олимпиады по химии для бакалавров. С 2013 года студенты факультета ежегодно принимают участие в Региональной олимпиаде по химии г. Санкт-Петербурга и с 2019 года – Межвузовской межрегиональной олимпиаде по химии, проводимой Военной академией радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С.К. Тимошенко (г. Кострома). Такая модель подготовки и регулярного участия в олимпиадах разного уровня позволяет легко выявлять одаренных

студентов и способствует повышению уровня подготовки студентов по химии. Введение в студенческие олимпиады экспериментального тура открывает возможность оценки не только теоретических знаний, но и навыков практической работы: умение планировать эксперимент, интерпретировать его результаты, точность, аккуратность.

Следует отметить, что сложившаяся система позволяет преподавателям факультета принимать участие в подготовке олимпиадных задач разного уровня сложности, а также в их проверке в составе методических комиссий и жюри. Зачастую, в процессе составления задач преподаватели интегрируют знания из различных областей химии: неорганической и аналитической химии, органической химии и физико-химических методов анализа. В целом, для преподавателей факультета участие в организации олимпиад и конкурсов – это возможность обмена опытом с представителями других ВУЗов, своеобразный способ повышения квалификации, включающий инструменты выявления слабых мест при изучении тех или иных разделов химии, а также оценки и сравнения уровня подготовки студентов разных ВУЗов.

Кроме того, студенты факультета химии регулярно принимают участие в качестве волонтеров в проведении теоретических и практических туров Всероссийской олимпиады школьников (региональный этап) и Санкт-Петербургской олимпиады школьников. Такая форма участие студентов позволяет актуализировать знания более широкого круга студентов, повысить их химическую эрудицию, закрепить навыки проведения эксперимента.

Помимо системы олимпиад у студентов факультета есть возможность участия в конкурсах: научных докладов, грантов, стипендий Президента и Правительства РФ. Организация и проведение подобных мероприятий стимулирует студентов к повышению уровня химических знаний, развивает навыки подготовки публикаций, выступлений с устными докладами.

С 2020 года факультет химии проводит конкурс научных докладов «Битва 118 элементов» для обучающихся 1 и 2 курсов, а с 2026 года – конкурс методических разработок студентов «Формула дидактики», основными организаторами которых выступают студенты старших курсов бакалавриата и магистратуры. Старшекурсники, выполняющие роль наставников и рецензентов, проверяют актуальность, новизну и достоверность представленных работ, обоснованность выводов, что способствует повышению их химической эрудиции, формирует умение критически оценивать представленную информацию, излагать свои мысли в научном стиле.

В целом, главным результатом такого рода олимпиад и конкурсов следует рассматривать интенсивное интеллектуальное и профессиональное развитие обучающегося, которое происходит при подготовке и непосредственно при участии, независимо от занятого места по их результатам.

Работа выполнена в рамках внутреннего гранта РГПУ им. А. И. Герцена (проект № 68-ВГ).

СЕКЦИЯ 1

ОРГАНИЧЕСКАЯ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ, ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ

СИНТЕЗ *N*-ЗАМЕЩЕННЫХ ОКСАЗОЛИДИНОВ С ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

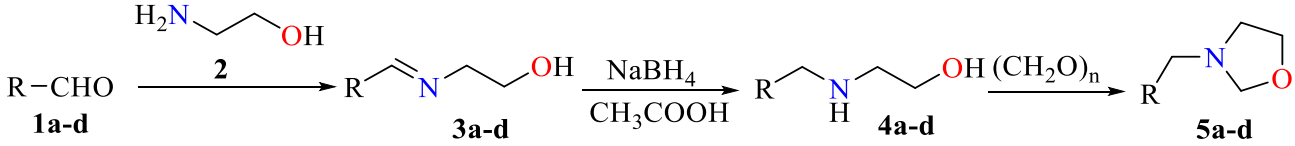
Акимова Е.С.*, *Султанова Р.М.

ФГБОУ ВО УГНТУ, Уфа

elizaveta_a@mail.ru

Разработка новых биологически активных соединений с низкой молекулярной массой является ключевым направлением в современной химии. Гетероциклические системы оксазолидины и их производные, объединяющие в одном ядре атомы кислорода и азота, составляют основу важного класса антибактериальных препаратов (линезолид, тедизолид), а также исследуются в качестве противораковых препаратов.

В данной работе предлагается метод получения *N*-замещенных оксазолидинов посредством циклоконденсации аминоспирта с параформом.



R = 4-Cl-C_6H_4 (**1-5a**); 4-Py (**1-5b**); o-HOC_6H_4 (**1-5c**); C_4H_3O (**1-5d**)

Целевые *N*-замещенные оксазолидины **5a–d** были синтезированы по трехстадийной методике. На первом этапе получали имины **3a–d**, которые затем восстанавливали в системе $NaBH_4$–CH_3COOH до вторичных аминов **4a–d** [1]. Завершающей стадией была конденсация полученных аминов с параформом в бензоле. Выходы соединений **5a–d** составили 50–81%.

Строение всех полученных соединений подтверждено ЯМР ^1H и ^{13}C спектроскопией.

Так же нами был проведен прогноз биологической активности соединений **5a-d** в интернет-версии программы PASS-online [2]. В результате прогноза установлено, что данные соединения могут проявлять активность против колоректального рака, рака толстой кишки и рака легких, а также могут применятся для лечения нейродегенеративных заболеваний.

Список литературы

1. *Акимова Е.С., Султанова Р.М., Рабаев Р.У., Борисова Ю.Г., Злотский С.С.* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025. Т. 15. № 4. С. 456. DOI: 10.21285/achb.1000
2. URL: http://www.pharmaexpert.ru/

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ХИНОЛИНА С 1,4-ДИБРОМБУТАНОМ

Алексеева В.А.*, *Румак А.В.*, *Сараева Т.А.*, *Дяченко В.Д.

ФГБОУ ВО «ЛГПУ», Луганск

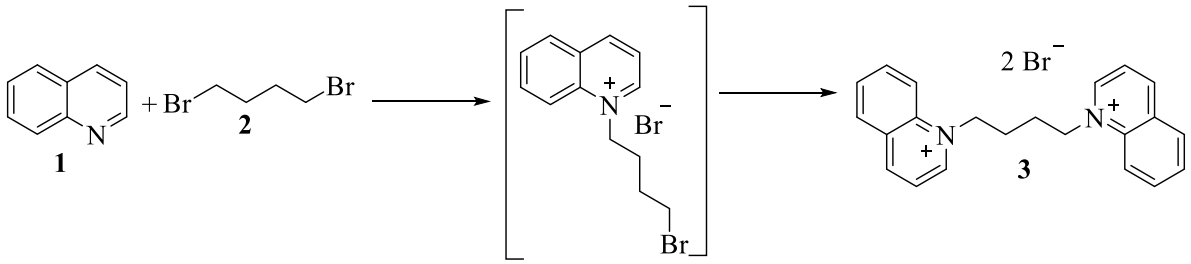
vikaalekseeva107@mail.ru

Соли хинолиния являются классом соединений, широко представленным как в природе, так и среди синтетических соединений, которые проявляют биологическую активность и используются для изготовления лекарственных средств и различных красителей [1].

Ранее было изучено алкилирование 4-метилхинолина 1,3-дибромпропаном, продуктом реакции которого является дибромид 1,1'-(пропан-1,3-диил)бис(4-метилхинолин-1-ия) (выход 60%) [2]. Другие данные такого типа взаимодействий в литературе не обнаружены.

В продолжение наших исследований в указанном научном направлении [3] в качестве объекта изучения был выбран хинолин **1**, который введен в реакции с алкилирующим реагентом – 1,4-дибромбутаном **2**. Экспериментально установлено, что независимо от соотношения исходных реагентов **1** и **2** (1:1 и 2:1) и условий реакции всегда образуется только один продукт – дибромид 1,1'-(бутан-1,4-диил)бис(хинолин-1-ия) **3.**

Первый метод синтеза заключался во взаимодействии хинолина **1** с 1,4-дибромбутаном **2** в соотношении 1:1 при перемешивании реакционной смеси на магнитной мешалке и нагревании до 60°С в течение 1 часа. Вторым методом синтеза соли хинолиния **3** является нагревание при 60-70°С хинолина **1** с 1,4-дибромбутаном **2** в соотношении 2:1 в течение 1 часа, что привело к максимальному выходу конечного продукта – 50%.



Строение соединения **3** подтверждено данными ЯМР ^{1}H и ^{13}C-спектров.

Список литературы

1. *Coe B.J., Docherty R.J., Foxon S.P., Harper E.C., Helliwell M., Raftery J., Clays K., Franz E., Brunschwig B.S.* // Organometallics. 2009. Vol. 28. N 24. P. 6880. DOI: 10.1021/om9007955
2. *Харитонов Г.В., Чин Л.* // ЖОрХ. 1980. Т. 16. Вып. 11. С. 2388.
3. *Сараева Т.А., Дяченко В.Д., Сайфулина М.В.* // Вестник ЛНУ имени Тараса Шевченко. 2019. № 2(38). С. 95.

КОНВЕРСИЯ МЕТАНОЛА В АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕОЛИТАХ ТИПА ЦВМ

Бабаева[1] Т.А., Мамедов[2] Э.С., Мирзалиева[3] С.Э., Мамедов[3] С.Э.
[1]Бакинский Инженерный Университет, Хырдалан, Азербайджан
[2]Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Баку, Азербайджан
[3]Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан
azeri09@mail.ru

Получение ароматических углеводородов альтернативным путем из метанола является актуальным и имеет большое практическое значение. Наиболее перспективным катализатором получения ароматических углеводородов из метанола являются цеолиты типа ZSM-5, обладающие наноразмерными (~0.55нм) каналами [1]. Достижение выхода ароматических углеводородов, особенно *п*-ксилола из метанола можно добиться путем химического модифицирования различными металлическими модификаторами [2].

Целью настоящей работы явилось изучение влияния природы и концентрации модифицирующих металлов (Ga, Ge, La, Zr) на выход ксилольной фракции и селективность по *п*-ксилолу в превращении метанола в углеводороды.

В качестве исходного цеолита использовали высококремнеземный цеолит ЦВМ с мольным отношением SiO_2/Al_2O_3 равным 33. Н-форму цеолита получали с помощью ионного обмена с использованием 1М раствора нитрата аммония при 80°С. Модифицирование цеолита НЦВМ приводили методом пропитки растворами нитратов лантана, галлия, хрома и оксихлоридом циркония. После модифицирования образцы сушили (110 °С, 4ч) и прокаливали (550°С, 4ч) в муфельной печи. Каталитические эксперименты проводили в проточной установке в интервале температур 300-400°С, объемной скорости подачи метанола 2.0 $ч^{-1}$ в присутствии азота.

В интервале температур 350-400°С на исследуемых образцах конверсия метанола составляет 94.2-100%. Продуктами конверсии метанола являются C_2-C_4 олефиновые (20-35%), C_{5+}-алифатические (15-25%) и C_6-C_{11} ароматические (25-40%) углеводороды. Выход ароматических углеводородов зависит от природы и концентрации модификатора. С увеличением содержания металла в цеолите наблюдается значительное уменьшение содержания тяжелых ароматических углеводородов C_9-C_{11} и возрастание содержания ксилольной фракции. Наибольший выход ароматических углеводородов достигается на образце Ga-НЦВМ, а наибольший выход ксилольной фракции (21.5%) на образце Zr-НЦВМ. Показано, что среди исследуемых образцов максимальную селективность по *п*-ксилолу (74.5%) достигается на образце НЦВМ модифицированным 5.0 мас.% циркония.

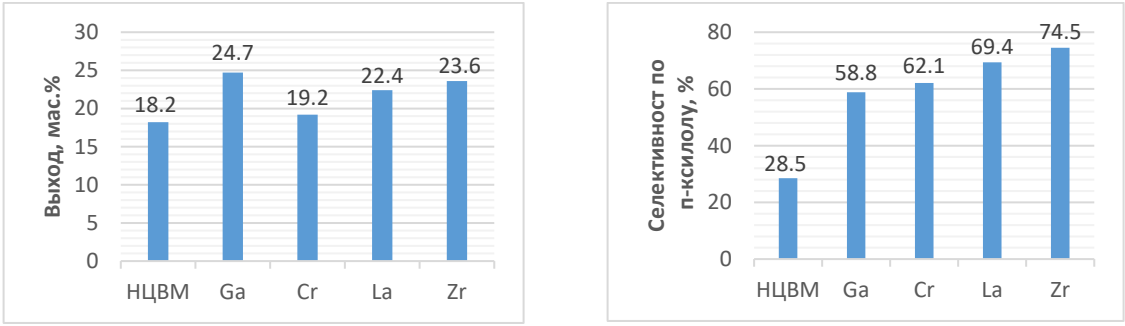


Рис.1 Влияние природы модификатора на выход ксилолов (а) и селективность по *п*-ксилолу (б) (T=400ºC, v=2.0 $ч^{-1}$: содержание модификатора-5.0 мас.%)

Видно, что наименьший выход ксилолов (18.2 мас.%) наблюдается на немодифицированном НЦВМ, а наибольший выход достигается на Ga-содержащем цеолите (24.7%). По выходу ксилолов (23.69%) Zr-содержащий катализатор незначительно уступает Ga-содержащему образцу. Самую низкую селективность по *п*-ксилолу (28.5%) проявляет немодифицированный НЦВМ. В результате модифицирования происходит существенное возрастание пара-селективности катализатора. Высокую пара-селективность (61.4-76%) проявляют образцы модифицированные лантаном и цирконием. На Zr-содержащем образце селективность по *п*-ксилолу достигает 74.5%.

Каталитическая активность и селективность по *п*-ксилолу значительно зависит также от концентрации кислотных центров. Модифицирование цеолита НЦВМ металлами изменяет распределение числа кислотных центров. НЦВМ обладает большим числом сильных кислотных центров (418 мкмоль/г). Введение металлов (La и Zr) в состав НЦВМ уменьшает число сильных кислотных центров до 272-286 мкмоль/г, в результате чего снижается скорость изомеризации *п*-ксилола в *м* и *о*-ксилолы, что приводит к возрастанию *пара*-селективности катализатора.

Следует отметить, что изменение пористой структуры в результате модифицирования также влияет на селективность образования *п*-ксилола. Увеличение концентрации металлов в цеолите заметно снижает его площадь удельной поверхности и объем пор соответственно с 286 до 214-218 $м^2/г$ и с 0.24 до 0.15-0.16 $см^3/г$.

Таким образом, природа и концентрация металла, а также изменения, происходящие в результате модифицирования цеолита НЦВМ металлами, приводят к уменьшению числа сильных кислотных центров, образованию новых сильных льюисовских кислотных центров и сужению пор цеолита, что является основными факторами повышения параселективности катализатора.

Список литературы

1. *Li Y., Fu S., Zhang Q., Liu H., Wang Y.* // Catalysts. 2022. Vol. 12. N 11 Art. № 1371. DOI: 10.3390/catal12111371
2. *Chen Z., Wang H., Song W., Hou Y., Qian W.* // Chem. Eng. Process. Process Intensif. 2020. Vol. 154. Art. № 108049. DOI: 10.1016/j.cep.2020.108049

ВСЕГДА ЛИ ПРОСТЫЕ СОЛИ МЕТАЛЛОВ И ЖЁСТКИЕ УСЛОВИЯ РЕАКЦИИ НЕСЕЛЕКТИВНЫ В КАТАЛИТИЧЕСКОМ ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ?

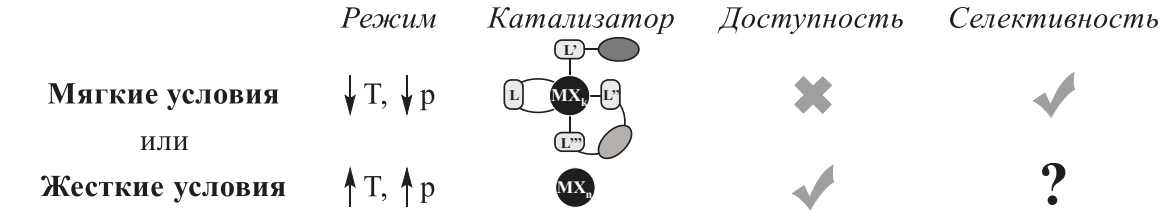
***Балалаева А.И.*, Подъячева Е.С., Афанасьев О.И., Чусов Д.А.**

ИНЭОС им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва

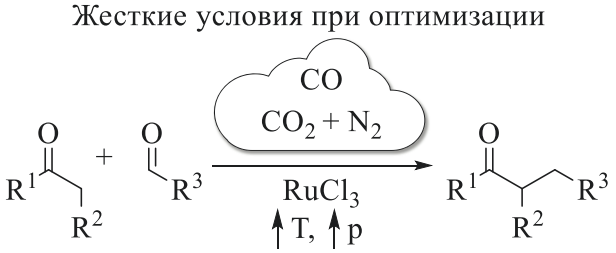
balalexluckchemie@gmail.com

По мере разработки новых синтетических подходов у исследователей сложилось представление, что более мягкие условия ведут к повышению селективности процесса. Однако, чем мягче условия реакции, тем, как правило, более сложной становится структура эффективного катализатора. Многостадийный синтез лигандов и целевых комплексов может быть тяжелой и времязатратной синтетической задачей. Тенденции к увеличению сложности катализаторов и реагентов, поиск наиболее мягких условий реакции могут привести к заключению, что простые каталитические системы всегда неселективны. Настолько ли необходим синтез сложного катализатора? Что если для успешного проведения реакции может быть достаточно обычной соли металла, несмотря на жесткие условия?

Классическая дилемма:



Предлагаемый подход:



Результат – доступный и селективный процесс

В данной работе на примере реакции восстановительной альдольной конденсации было показано, что конвертерный газ (CO, CO_2, N_2) может быть использован как восстановитель в сочетании с простой солью металла в качестве катализатора в жестких условиях для проведения селективного процесса [1].

Список литературы

1. *Podyacheva E., Ma Z., Balalaeva A.I., Afanasyev O.I., Jagadeesh R.V., Beller M., Chusov D.* // J. Catal. 2026. N 454. P. 116583. DOI: 10.1016/j.jcat.2025.116583.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 25-13-00085).

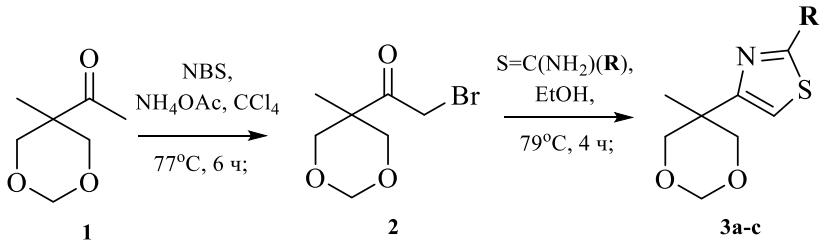
СИНТЕЗ ТИАЗОЛОВ СОДЕРЖАЩИХ ЦИКЛОАЦЕТАЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Березняк Я.С.*, *Султанова Р.М.

УГНТУ, Уфа

ya.na.rt@yandex.ru

Известно, что производные тиазола обладают разнообразной биологической активностью (антибактериальной, противовоспалительной, биоцидной и др.), что делает их ценными в фармацевтической химии. В данной работе представлены результаты синтеза тиазолов **3a-c** (по Ганчу) содержащих 1,3-диоксановый фрагмент [1].



R: CH_3 (**a**), NH_2 (**b**), NH_2-All (**c**);

Дополнительная оценка токсикологического профиля синтезированных соединений была проведена с использованием программного обеспечения Osiris DataWarrior [2].

Таблица 1. Прогноз токсических рисков в программе Osiris DataWarrior

№	Соединение	Drug-likeness	Мутагенность	Канцерогенность	Репродуктивная функция	Раздражающий эффект
1.	**3a**	2.277	(-) риск отсутствует			(±) средняя степень риска
2.	**3b**	2.653				
3.	**3c**	-0.277				

Результаты прогнозирования свидетельствуют об отсутствии мутагенной, канцерогенной и репродуктивной токсичности и наличии средней степени риска раздражающего эффекта у целевых продуктов **3a-c**. Отрицательное значение параметра «drug-likeness» для соединения **3c** указывает на его низкое соответствие ключевым критериям, предсказывающим успешность разработки лекарственного средства, таким как правило Липински (Таблица 1).

Таким образом, полученные соединения являются перспективными для дальнейших биологических исследований.

Список литературы

1. *Erian A.W., Sherif S.M., Gaber H.M.* // Molecules. 2003. Vol. 8. N 11. P. 813. DOI: 10.3390/81100793
2. URL: www.organic-chemistry.org/prog/peo/

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ АЛЬФА-АМИЛАЗЫ СЛЮНЫ ПРИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ

Богданова В.Е.*, *Мухина Е.С.

ФГБОУ ВО «ХГУ им. Н.Ф. Катанова», Абакан

elenadocent@mail.ru

Альфа-амилаза слюны (КФ 3.2.1.1) сегодня рассматривается как удобный инструмент для объективной оценки уровня стресса, однако изучение специфичности реакции фермента на различные стрессовые ситуации требует комплексного подхода и дальнейших долгосрочных наблюдений.

Для исследования реакции альфа-амилазы слюны на стрессорные факторы в качестве модели были выбраны: защита курсовой работы (острый стресс) и повседневная интеллектуальная нагрузка, реализуемая в процессе обучения студентов-медиков (хронический интеллектуальный стресс). В исследовании на добровольной основе приняли участие 40 практически здоровых студентов обоего пола в возрасте 19 ± 3.5 лет. Вся нестимулированная слюна отбиралась до и после воздействия стресс-фактора. Для оценки эффекта острого стресса измерялись как физиологические, так и биохимические параметры. Полученные данные обработаны с использованием статистических пакетов STATISTICA 8.0 (StatSoft). Для определения достоверности различий между уровнями исследуемых параметров использовали U критерий знаковых рангов Вилкоксона для связанных выборок. Различия считали достоверными при $p<0,05$. При остром стрессе наблюдалось замедление скорости слюноотделения и понижение pH слюны, при этом одновременно происходило повышение пульса и систолического давления, амилазная активность слюны повышалась в 1.5-2.0 раза по сравнению с исходным уровнем и в среднем варьировала от 478±29.5 до 870±21.3 амилазных единиц [1]. Для комплексной оценки стрессового состояния, обусловленного хроническим интеллектуальным стрессом, в комбинации с биохимическими методами проводилось тестирование на стрессоустойчивость. Анализ результатов показал, что между активностью альфа-амилазы и стрессоустойчивостью существует прямая зависимость. Параллельно зарегистрировано повышение амилазной активности в среднем на 13% [2]. Исследования реакции альфа-амилазы слюны на длительно воздействующие стрессогенные факторы менее многочисленны и требуют дальнейшего изучения.

Список литературы

1. *Деревянко И.А., Мухина Е.С.* // Материалы XXII Междунар. науч. шк.-конф. студ. и мол. уч. «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий». 2018. 14-16 ноября 2018. Т. 2. Вып. 22. С. 105.
2. *Мухина Е.С.* // Мат-лы VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Адаптация детей и молодежи к современным социально-экономическим условиям на основе здоровьесберегающих технологий». Абакан. 22 октября 2021. С. 10.

РЕАКЦИЯ 1,3-ДИПОЛЯРНОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ К ФОСФОРИЛИРОВАННЫМ АЛКИНАМ АЗОМЕТИНИЛИДОВ НА ОСНОВЕ ИЗАТИНА

Булгакова Е.В.*, *Егоров Д.М.

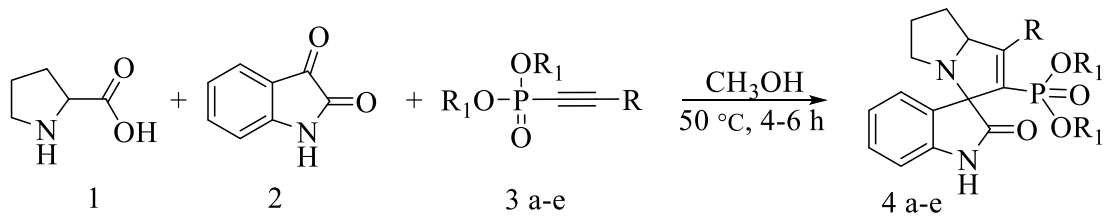
СПбГТИ(ТУ), Санкт-Петербург

lizabulgakova135@gmail.com

Получение соединений, содержащих пирролизидиновый фрагмент, является актуальной задачей современной органической химии в связи с потенциальным их применением в фармакотерапии как перспективных биологически активных веществ.

В настоящей работе нами был предложен метод фосфонилирования изатиновых азометин илидов. В качестве исходных соединений использовали илиды, полученые реакцией изатина с *L*-пролином в метаноле. В качестве фосфонилириующих агентов были использованы различные диалкилхлорэтинилфосфонаты **3 a-c**, а также тетраалкилэтинилдифосфонаты **3 d-e**. Реакцию проводили при температуре 50 °C в течение 4-6 часов, в среде метанола. Контроль за реакцией осуществлялся посредством ЯМР спектроскопии на ядре ^{31}P.

После окончания реакции реакционную массу упаривали в вакууме, полученный остаток в виде масла очищали с помощью флэш-хроматографии в системе дихлорметан/этилацетат с последующей перекристаллизацией из изопропилового спирта.



1 2 3 a-e 4 a-e

a) R=Cl, R_1=Me; b) R=Cl, R_1=Et; c) R=Cl, R_1=iPr; d) R=$PO(OMe)_2$, R_1=Me; e) R=$PO(OEt)_2$, R_1=Et.

Мы предполагаем, что реакция протекает по механизму [3+2] циклоприсоединения и приводит к образованию спиро-конденсированных соединений **4 a-e** с высокой хемо- и региоселективностью. Выходы продуктов варьировались в диапазоне 81-93%. Строение полученных соединений охарактеризовано данными ЯМР-спектроскопии на ядрах ^{1}H, ^{13}C, ^{31}P.

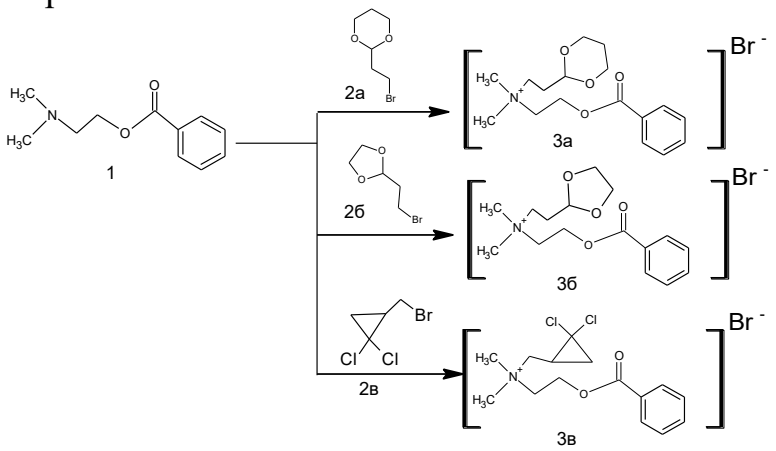
Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSEN-2026-0003).

СИНТЕЗ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ АММОНИЕВЫХ СОЛЕЙ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Войнов В.А.,[1] Борисова Ю.Г.,[1] Раскильдина Г. З.[1,2]

[1]ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, Уфа,
[2]ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан», Россия, Уфа,
e-mail: viktorvoinovalex@mail.ru

Установлено, что N-содержащие соединения с разными функциональными группами оказывают воздействие на показатели тромбоцитарной агрегации и плазменного звена свёртывающей системы крови [1]. Также они широко примененяются в медицине благодаря своим антикоагуляционным и антиагрегационным свойствам [2]. В связи с высокой практической значимостью азотсодержащих соединений, нами были получены четвертичные аммониевые соли **3а-в** на основе 2-(диметиламино)-этил бензоата **1** и 2-бромэтил-1,3-диоксалана **2а**, 2-бромэтил-1,3-диоксана **2б** и бромметил-гемдихлорциклопропана **2в**.



Для полученных солей было определено влияние на агрегацию тромбоцитов. Установлено, что соли **3а** и **3б** проявляют антиагрегационную активность (-17.9 (15.2-19.7)) и (-16.6 (14.9-18.3)), превышающую значение активности ацетилсалициловой кислоты (-13.7 (10.8-16.4)). Кроме того, соли способны пролонгировать латентный период (+13.9 %) и (+14.1 %), удлиняя реакцию высвобождения тромбоцитов.

Список литературы

1. *Ким А.Е., Шустов Е.Б.* // Биомедицина. 2023. Т. 19 № 3Е. С. 110. DOI: 10.33647/2713-0428-19-3E-110-113
2. Arnold W.A., Blum A., Branyan J., Bruton T.A., et. al // Environmental Science & Technology. 2023. Vol. T. 57. N 20. P. 7645. DOI: 10.1021/acs.est.2c08244

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности, номер для публикаций FEUR — 2025-0001 «Нефтехимические реагенты, добавки и материалы».

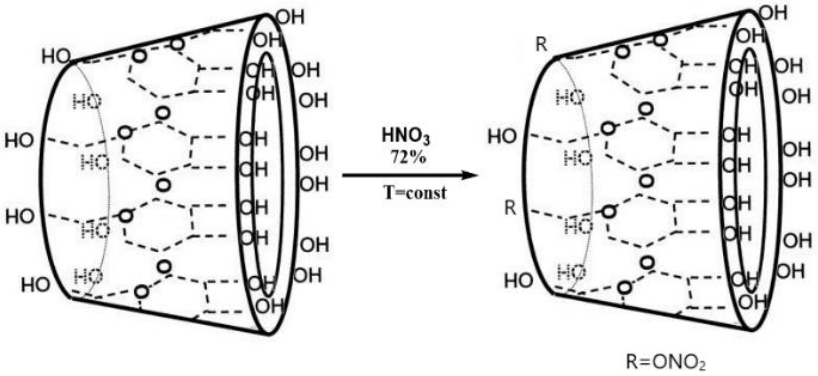
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ НИТРАТОВ α-, β- и γ-ЦИКЛОДЕКСТРИНОВ

***Ворожейкин М.И.*, Лукьянова А.А., Баринова Л.С., Даровских А.В., Михайлов Ю.М.**

ФИЦ ПХФ и МХ РАН, 142432, г. Черноголовка, просп. академика Семенова, 1

email: aerodynamicbeats20@gmail.com

Циклодекстрины привлекают внимание исследователей благодаря сочетанию низкой токсичности, биоразлагаемости и уникальной пространственной структуры. Их молекулы, имеющие форму полого усеченного конуса, способны образовывать комплексы включения с различными соединениями, что открывает возможности для повышения растворимости труднорастворимых веществ и реализации синергетических эффектов, обусловленных природой модифицирующих групп. Введение нитратных фрагментов придает циклодекстринам дополнительные ценные свойства, в частности способность выступать донором оксида азота (NO). Принципиальная возможность использования нитратов циклодекстринов (НЦД) для формирования комплексов включения с различными соединениями, включая лекарственные вещества, была продемонстрирована ранее [1–2].



В работе исследованы закономерности получения водорастворимых нитратов циклодекстринов с регулируемой степенью замещения. В процессе исследования было изучено влияние на процесс нитрования концентрации HNO_3, модуля нитрования, температуры и времени выдержки.

Установлено, что концентрация азотной кислоты оказывает практически линейное влияние на процесс нитрования. Наиболее воспроизводимые и контролируемые результаты достигаются при пониженных температурах (0–10°C), что позволяет получать целевые продукты с заданным содержанием нитратных групп.

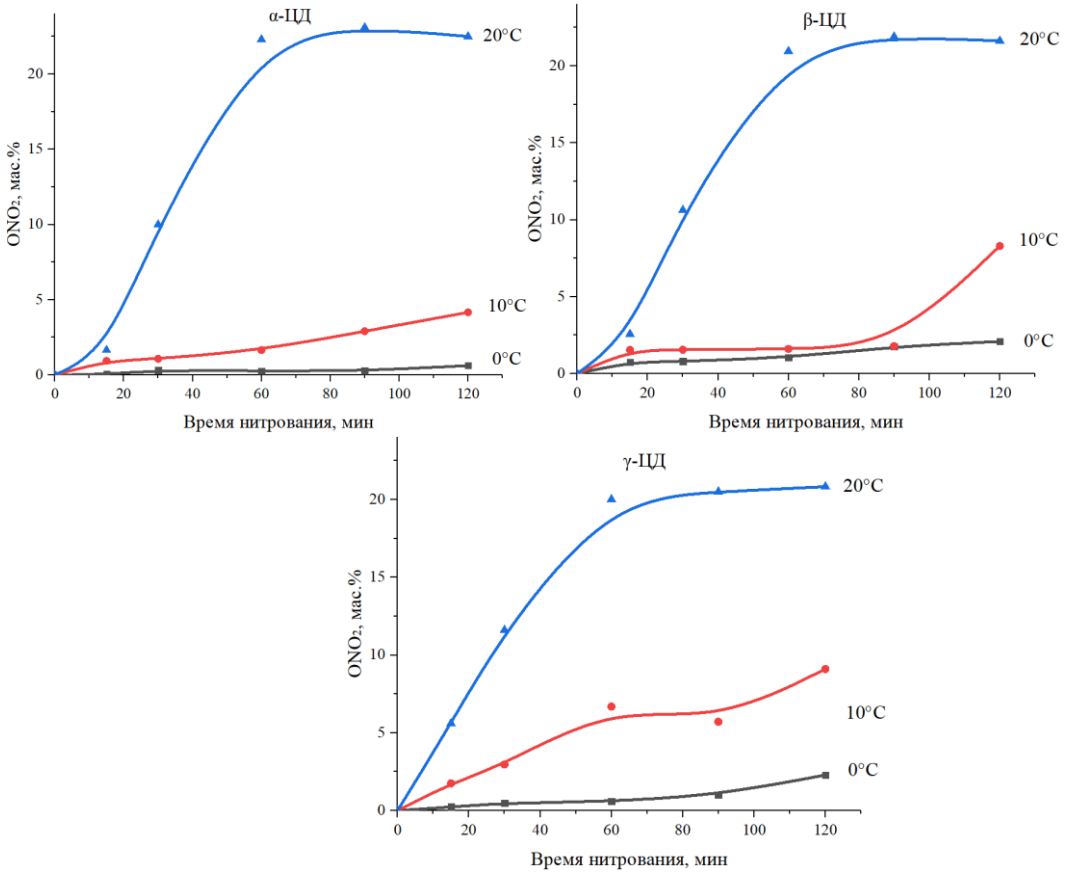


Рис. 1. Зависимость массовой доли ONO_2-групп от температуры и времени реакции (M=5.72% HNO_3)

Для выделения продуктов из реакционной смеси оптимальным признан ацетон: он обеспечивает высокий выход, требует меньшего объема и позволяет получить продукт с повышенным содержанием азота, что важно для реализации NO-донорных свойств.

Токсикологические исследования показали, что $ЛД_{50}$ синтезированных нитратов циклодекстринов составляет 500–1000 мг/кг, что соответствует классу умеренно токсичных соединений и позволяет рассматривать их как перспективные носители для фармацевтических целей. Показано, что увеличение степени нитрования закономерно приводит к снижению водорастворимости. Диапазон содержания ONO_2-групп 10–12.5 мас. % определен как оптимальный, обеспечивающий сочетание достаточной растворимости и функциональной активности.

Список литературы

1. *Михайлов Ю.М., Бачурин С.О., Даровских А.В., Веселов И.М., Шевцов П.Н., Мальцев А.В., Шевцова Е.Ф.* // Докл. РАН. Химия, науки о материалах. 2024. Т. 517. Вып. 1. С. 3. DOI: 10.31857/S2686953524040019
2. *Михайлов Ю.М., Даровских А.В., Баринова Л.С., Ворожейкин М.И., Лукьянова А.А., Полетаева Д.А., Файнгольд И.И.* // Технол. безопасности жизнедеятельности. 2024. № 7. С. 5. DOI: 10.17223/29491665/7/1

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 24-13-00288.

СИНТЕЗ СУЛЬФОЛАН СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИЦИКЛОВ НА ОСНОВЕ НИТРОСУЛЬФОДИЕНОВ РЯДА ТИОЛЕН-1,1-ДИОКСИДА

***Герасимов Д.Р.*, Сафронова А.В., Ефремова И.Е.**

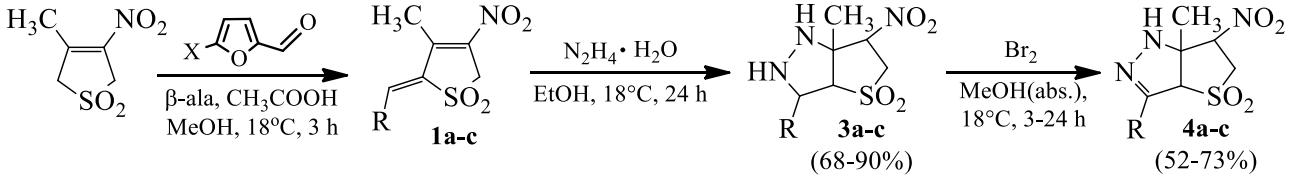
РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

kohrgpu@yandex.ru

Нитросульфодиены ряда тиолен-1,1-диоксида **1**,**2** являются активными субстратами в реакциях с нуклеофилами, на основе которых были получены аннелированные сульфолансодержащие бициклы [1], а также разнообразные продукты реакций S_NVin [2]. С целью дальнейшего развития синтетического потенциала диенов **1,2** проводятся исследования в следующих направлениях:

1. Синтез фурилзамещенных мононитродиенов **1a-c** и конструирование на их основе новых аннелированных производных нитросульфолана;
2. Формирование неаннелированных полициклов на основе диенов **1d-g**;
3. Исследование поведения динитросульфодиенов **2d-g** в реакциях с нуклеофилами.

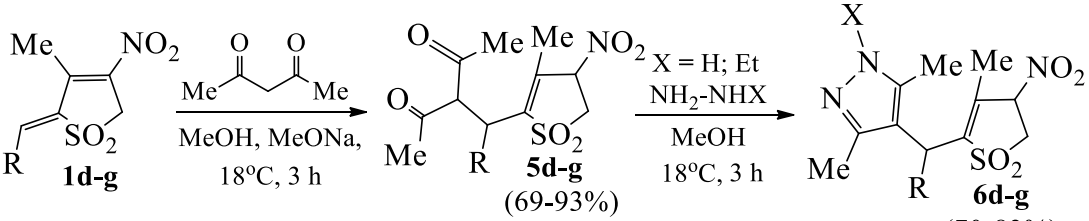
Фурилзамещенные диены **1a-c** были получены в результате конденсации при участии нитросульфолена и замещенных фурфурола. Взаимодействие **1a-c** с гидразингидратом, протекающее по схеме тандемного процесса, привело к синтезу новых представителей пиразолидиннитросульфоланов **3a-c**; окисление бициклов **3a-c** позволило получить сульфоланопиразолины **4a-c** (*Схема 1*).



R = 5-NO_2furan-2-il **a**, 5-(2-$NO_2C_6H_4$)furan-2-il **b**, 5-(4-Cl-2-$NO_2C_6H_3$)furan-2-il **c**

Схема 1

Учитывая фармакологическую значимость полициклов, сочетающих кольца гидросульфолена и пиразола, нами разработана схема синтеза пиразолсодержащих производных сульфолена, включающая синтез аддуктов **5d-g** и их взаимодействие с гидразингидратом, приводящее к образованию целевых пиразолинсодержащих бмциклов **6d-g** (*Схема 2*).



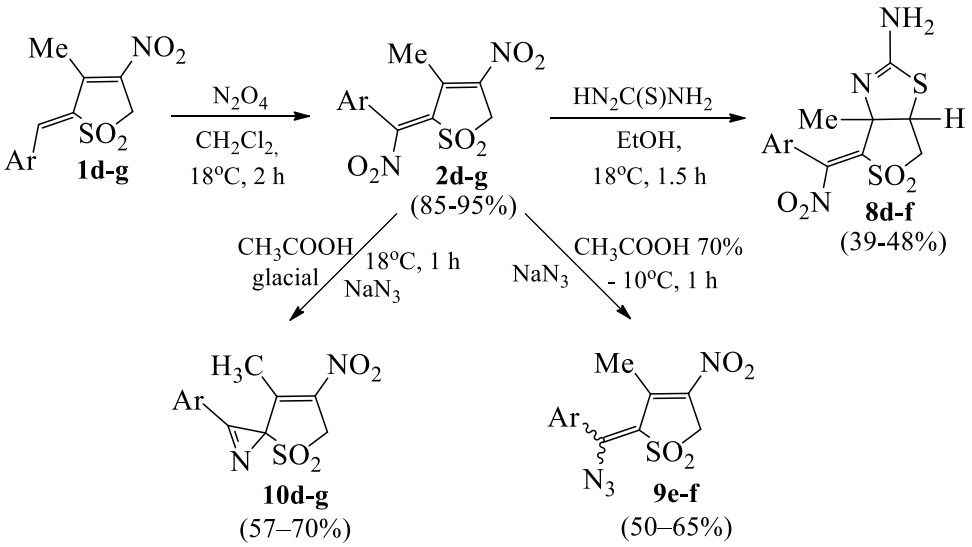
R = C_6H_5 **d**, 4-ClC_6H_4 **e**, 4-BrC_6H_4 **f**, 4-$MeOC_6H_4$ **g**

Схема 2

Синтез динитросульфодиенов **2d-g** с выходом 85-95% осуществлен по модифицированной методике путем нитрования с помощью N_2O_4 в CH_2Cl_2.

Структура диенов **2d-g** характеризуется наличием двух нитровинильных систем, каждая из которых способна к взаимодействию с нуклеофилами.

Селективно по эндоциклическому нитроэтеновому фрагменту протекает взаимодействие диенов **2d-f** с тиомочевиной (EtOH, 18°C) по пути акта S_NVin за счет тиольной группы и последующего присоединения по кратной связи с образованием оригинальных тиенотиазолов **8d-f** (*Схема 3*).



Ar = C_6H_5 **d**, 4-ClC_6H_4 **e**, 4-BrC_6H_4 **f**, 4-$MeOC_6H_4$ **g**

Схема 3

Взаимодействие диенов **2d-g** с азидом натрия протекает в мягких условиях региоселективно по экзоциклическому нитроэтеновому фрагменту, результат этих реакций зависит от условий и характера заместителя в ароматическом кольце исходного диена. В более мягких условиях (70% CH_3COOH, -10ºC) при наличии в ароматическом кольце диенов **2e-f** электроноакцепторных заместителей (Cl, Br) образуются азидонитродиены **9e-f**, в более жестких условиях (CH_3COOH лед., 18ºC) реализуется тандемный процесс, при котором образующиеся азидонитродиены претерпевают трансформацию в нитросульфоленазирины **10d-g** с выделением азота (*Схема 3*).

Полициклические оригинальные производные сульфолана **4**, **6**, **8**, **10** представляют интерес в плане потенциальной биологической активности.

Строение всех полученных соединений установлено на основании данных спектроскопии ИК, ЯМР ^{1}H, ^{13}C{^{1}H} с использованием гомо- и гетерокорреляционных экспериментов HMQC, HMBC, NOESY. Особенности молекулярных структур соединений **5e** и **10e-f** описаны с помощью данных РСА.

Список литературы

1. *Ефремова И.Е., Лапшина Л.В., Байчурин Р.И. Серебрянникова А.В., Савельев И.И.* // ЖОХ. 2020. Т. 90. Вып. 8. С. 1153. DOI: 10.31857/s0044460x20080028
2. *Ефремова И.Е., Бортников С.В., Берестовицкая В.М.* // ХГС. 2002. Вып. 10. С. 1464. DOI: 10.1023/A:1021706202702

СИНТЕЗ 2,5-ЗАМЕЩЕННЫХ 1,3,4 ОКСАДИАЗОЛОВ

Герасимова Е.А.*, *Егоров Д.М.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия

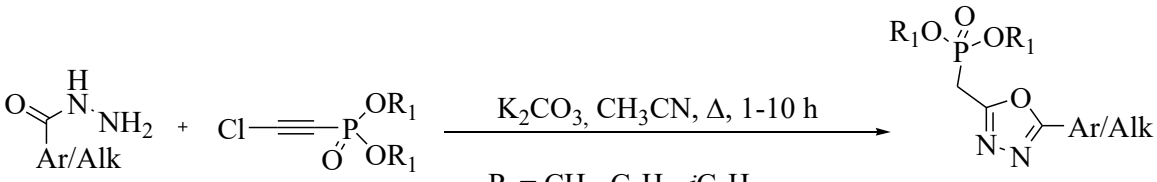
spiridon.41@mail.ru

Актуальность поиска эффективных методов синтеза и изучения свойств оксадиазолов обусловлена их уникальным структурным профилем и востребованностью в ряде высокотехнологичных отраслей. В современной органической и медицинской химии оксадиазольный цикл рассматривается как «привилегированный» каркас для создания молекул с заданными свойствами.

В области фармацевтической химии оксадиазолы выступают в роли эффективных биоизостеров карбонильных групп (эфиров, амидов) и карбоновых кислот. Такая замена позволяет существенно повысить метаболическую стабильность лекарственных кандидатов, улучшить их липофильность и способность проникать через биологические мембраны. На сегодняшний день оксадиазольный фрагмент является ключевым фармакофором в составе препаратов с противовирусной (ВИЧ-ингибиторы), противоопухолевой, антибактериальной и противовоспалительной активностью[1,2].

Несмотря на многообразие существующих подходов, актуальной задачей остается разработка новых методов синтеза оксадиазолов. В современной химии гетероциклов превалирует подход с использованием производных ацетиленового ряда, доступными для дальнейшей модификации.

В данной работе предлагается метод 2,5-замещенных 1,3,4-оксадиазолов на басе пуш-пульных ацетиленовых производных.



R_1= CH_3, C_2H_5, iC_3H_7

Ar= C_6H_5, 4-$CH_3C_6H_4$, 3-$NO_2C_6H_4$, 4-$NO_2C_6H_4$, 2-ClC_6H_4, 3-ClC_6H_4, 4-ClC_6H_4, 2-OHC_6H_4

Alk= CH_3, CF_3, C_2H_5, $PhCH_2$, $CH_2CH_2C_6H_5$, C_7H_{15}, C_8H_{17}, C_9H_{19}, $C_{11}H_{23}$, $C_{13}H_{27}$, $C_{15}H_{31}$, $C_{17}H_{35}$

Список литературы

1. *Ramsden C.A.* // Adv. Heterocyc. Chem. 2022. Vol. 137. P. 1. DOI: 10.1016/bs.aihch.2021.10.001
2. *Hamoud M.M.S., Osman N.A., Rezq S., Abd El-wahab H.A.A., Hassan A.E.A., Abdel-Fattah H.A., Romero D.G., Ghanim A.M.* // Bioorganic Chem. 2022. Vol. 124. Art. № 105808. DOI: 10.1016/j.bioorg.2022.105808

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ 1-БРОМ-1-НИТРО-3,3,3-ТРИГАЛОГЕНПРОПЕНОВ С НИНГИДРИНОМ И САРКОЗИНОМ

***Глебова А.А.*[1], *Алексеева Е.Д.*[1], *Черкасова А.В.*[2], *Анисимова Н.А.*[1,2]**

[1]РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург
[2]СПбГУПТД ВШТЭ, Санкт-Петербург

kohrgpu@yandex.ru

Известно, что спирогетероциклы (спиропирролидины и -пирролизидины) распространены в природе, играют фундаментальную роль в биологических процессах и проявляют разнообразную биологическую активность. Синтетические представители спироконденсированных соединений являются ингибиторами ферментов, проявляют антибактериальный, противовоспалительный и противоопухолевый эффекты [1-3].

Одним из методов синтеза спироциклов является 1,3-диполярное циклоприсоединение с использованием в качестве 1,3-диполей азометинилидов.

В настоящей работе нами осуществлено взаимодействие 1-бром-1-нитро-3,3,3-трифтор(хлор)пропенов **1**, **2** с нингидрином и саркозином. Показано, что реакции протекают в мягких условиях и завершаются образованием соответствующих циклоаддуктов (Схема 1). В отличие от ранее исследуемых нами реакций нитроалкенов **1**, **2** с нингидрином и пролином наряду с целевыми соединениями **3**, **5** образуются продукты **4**, **6**, не содержащие атома брома.

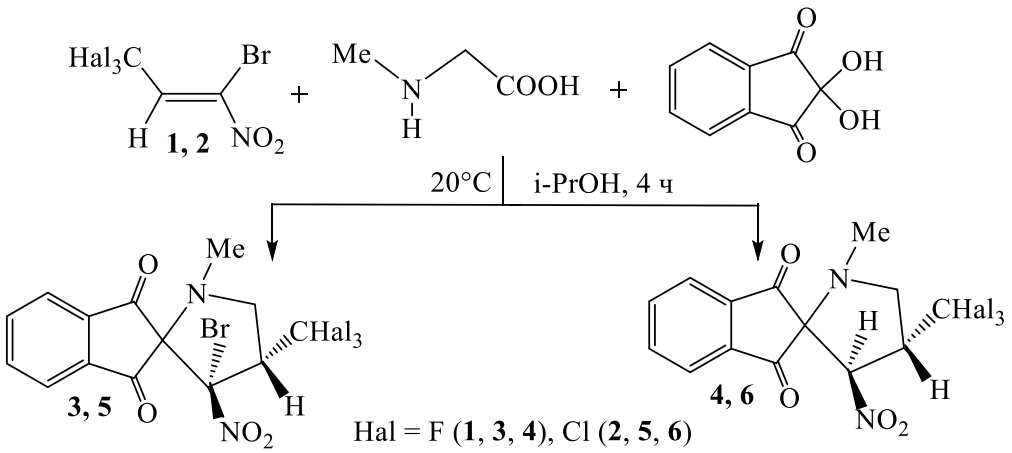


Схема 1

Состав и строение полученных циклоаддуктов **3-5** установлены с использованием современных физико-химических методов исследования.

Список литературы

1. *Saraswat P., Jeyabalan G., Hassan Mohd. Z., Rahman M.U., Nyola N.K.* // Synthetic Communications. 2016. Vol. 46. N. 20. P. 1643.
2. *Yu B., Yu D.-Q., Liu H.-M.* // Eur. J. Med. Chem. 2015. Vol. 97. P. 673. DOI: 10.1016/j.ejmech.2014.06.056
3. *Akondi A.M., Mekala S., Kantam M.L., Trivedi R., Raju Chowhan L., Das A.* // New J. Chem. 2017. Vol. 41. N 2. P. 873. DOI: 10.1039/c6nj02869a

ФЕРРОЦЕНИЛЗАМЕЩЕННЫЕ ХИНОЛИНЫ И ИХ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

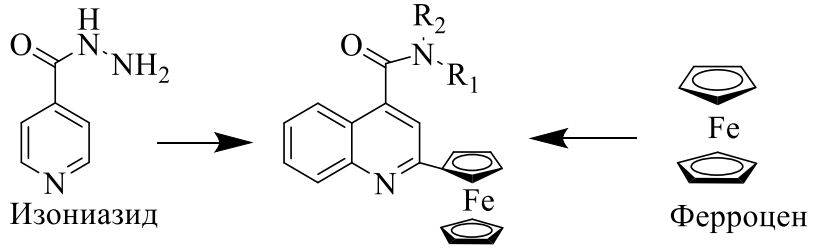
Голохвастова В.И.*, *Родионов А.Н.

ИНЭОС им. А. Н. Несмеянова РАН, Москва

golokhvastovavika@mail.ru

Туберкулез, вызываемый *Mycobacterium tuberculosis*, остается серьезной проблемой в настоящее время в условиях нарастающей резистентности к существующим антибиотикам. Введение ферроцена в структуру уже существующей биоактивной молекулы приводит к усилению биологической активности. Липофильность ферроцена, в сочетании с его небольшой и жесткой структурой позволяет эффективно преодолевать клеточные барьеры [1]. Ярким примером являются противомалярийный «Феррохин» и противораковый «Ферроцифен» [2].

Целью данной работы является синтез новых ферроценилзамещенных производных хинолина и изучение их биологической активности.



Синтез 2-ферроценилхинолин-4-карбоксилата натрия проводили по реакции Пфитцингера из ацетилферроцена [3]. Последующая химическая модификация карбоксильной группы позволила синтезировать ряд новых соединений, включая гидразид, серию амидов и серию гидразонов 2-ферроценилхинолин-4-карбоновой кислоты.

Оценка антимикобактериальной активности некоторых полученных соединений проводилась *in vitro* на трех штаммах микобактерий *M. Abscessus, M. Avium, M. intracellulare*. Наилучшие результаты показали этил 2-ферроценилхинолин-4-карбоксилат с минимальной ингибирующей концентрацией 80 мкг/мл и 2-ферроценил-N-аллилхинолин-4-карбонамид с минимальной ингибирующей концентрацией 80 мкг/мл. Полученные данные свидетельствуют о невысокой антимикобактериальной активности синтезированного ряда соединений в исследуемом диапазоне концентраций.

Список литературы

1. *Margaret A.L. Blackie and Kelly Chibale* // Met.-Based Drugs. 2007. Vol. 2008. P. 1-10. DOI: 10.1155/2008/495123.
2. *Beatrice S. Ludwig João D.G. Correia Fritz E. Kühn* // Coor. Chem. Rev. 2019. Vol. 396. P. 22-48. DOI: 10.1016/j.ccr.2019.06.004
3. *Moskalenko A.I. Boeva A.V. Boev V.I.* // Russ. J. Gen. Chem. 2011. Vol. 81. P. 535-541. DOI: 10.1134/S1070363211030157.

СИНТЕЗ СТРОИТЕЛЬНОГО БЛОКА ФЕРОМОНА ЯБЛОНЕВОЙ ПЛОДОЖОРКИ *EPIPHYAS POSTVITTANA*

***Гордунов Г.А.*[1,2], *Минеева И.В.*[1,2]**

[1]*БГУ, Минск, Республика Беларусь*

[2]*НИИ ФХП БГУ, Минск, Республика Беларусь*

grigory.gordunov@yandex.by

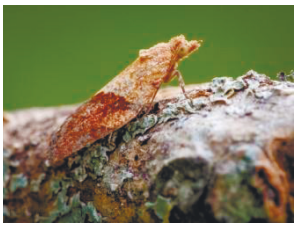
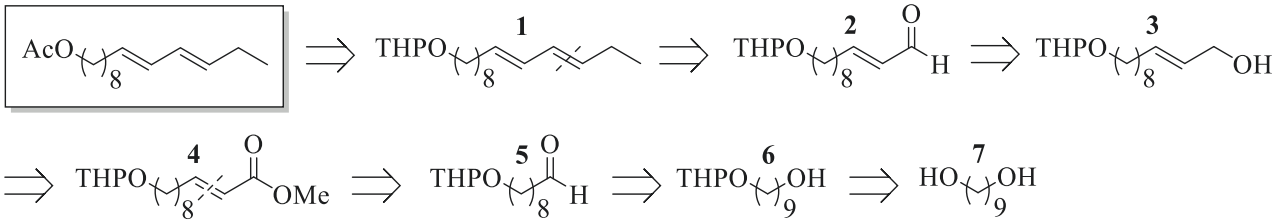


Рисунок 1. *Epiphyas postvittana*

Светло-коричневая яблоневая плодожорка, широко известная как *Epiphyas postvittana*, представляет собой чешуекрылого вредителя, имеющего существенное экономическое значение в Австралии, Новой Зеландии, США и Великобритании [1] (Рис. 1). Это насекомое широко известно как вредитель фруктовых деревьев, включая яблоки, груши и виноград, а также, в меньшей степени, овощных и цветочных культур [1]. Его личинки обычно питаются на поверхности листьев и плодов, оплетая лист паутиной, чтобы создать защищенное укрытие для плодов. Это порождает появление пятен на плодах и может привести к развитию болезней, вызывающих гниение.

В составе полового феромона *Epiphyas postvittana* среди ключевых компонентов были идентифицированы октадеканаль, (*E*)-1-тетрадеценилацетат и (*E*,*E*)-9,11-тетрадекадиенилацетат [1]. Нашей научно-исследовательской группой был проведен ретросинтетический анализ последнего компонента, в результате которого было выявлено, что в качестве исходного субстрата выступает легкодоступный 1,9-нонандиол (**7**).



На первой стадии в результате реакции между **7** (1 экв.) и 3,4-дигидро-2*H*-пираном (**8**) (1.3 экв.) в кислотно-катализируемых условиях было получено монозащищенный диол **6** с выходом 53 %. Стоит отметить, что в качестве побочного продукта было выделено бис(тетрагидро)пиранильное производное с выходом 38 %. При уменьшении соотношения исходных соединений **7** и **8** (1:1.2 и 1:1.1) выход оставался в пределах 50-53 %. Это говорит нам о том, что в данных условиях невозможно провести реакцию селективно.

На второй стадии вследствие окисления спирта **6** реагентом Кори-Шмидта с умеренным выходом был получен альдегид **5**. Реакция протекала довольно медленно (в течение пяти суток), но все равно довольно значительное количество исходного соединения осталось непрореагировавшим. В дальнейшем при наработке данного альдегида **5** в наших планах произвести

замену дихромата пиридиния на реагент Кори-Саггса в присутствии NaOAc для понижения кислотности реакционной системы, что критично при наличии ацетальных защитных групп.

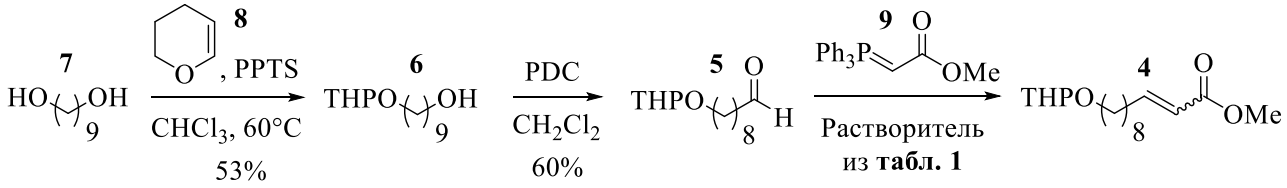


Таблица 1. Влияние растворителей на соотношение геометрических изомеров

Растворитель	PhH	PhMe	THF	$CHCl_3$	CH_2Cl_2
Выход, %	88	88	90	89	87
Соотношение *E* : *Z*	95:5	94:6	95:5	90:10	93:7

Самыми важными этапами в предложенной выше цепочке превращений являются стадии формирования кратных связей с наибольшим соотношением π-диастереомеров. Поскольку следующим этапом было создание соединения **4** с *E*-конфигурацией, одним из приемлемых вариантов являлось использование реакции олефинирования по Виттигу. Мы выбрали классический подход с применением стабилизированного илида фосфора **9** для проведения ряда опытов, где были взяты наиболее популярные для данного превращения растворители с целью преимущественного образования желаемого продукта **4**.

Анализ результатов исследования показал, что самым подходящим растворителем является тетрагидрофуран, однако ввиду простоты выделения и экономической обоснованности процесса в условиях масштабирования, нами был выбран бензол. Тут также следует добавить, что все реакции протекали при комнатной температуре в течение 48 часов, однако при уменьшении времени вдвое выход продукта в бензоле составил > 99 %.

В дальнейшем мы планируем продолжить реализацию получения (*E*,*E*)-9,11-тетрадекадиенилацетата по данной синтетической схеме. Структуры всех соединений были охарактеризованы методами ^{1}H и ^{13}C ЯМР. Соотношение геометрических изомеров определено методом газовой хроматографии на колонке с хиральным носителем.

Список литературы

1. *El-Sayed A.M., Mitchell V.J., Manning L.A.M., Suckling, D.M.* // J. Chem. Ecol. 2011. N 37. P. 640. DOI: https://doi.org/10.1007/s10886-011-9964-x.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Дизайн и методы синтеза новых гетероциклических гибридных молекул с высоким потенциалом биологической активности и прототипов лекарственных средств» и проекта БРФФИ (№ гос. регистрации 0250778).

СИНТЕЗ МЕТИЛЦИКЛОГЕКСИЛБЕНЗИЛАМИНОВ – АНТИОКСИДАНТОВ К МОТОРНЫМ МАСЛАМ М-8

Гурбанова У.Р., Нагиев А.В., Агамалиев З.З., Мамедов Ф.Ф.

Институт нефтехимических процессов им.Ю.Г. Мамедалиева Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики, г.Баку

ulviyyagurbanova01@gmail.com

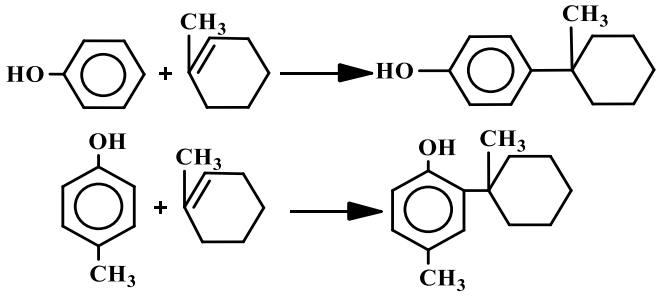
Простота осуществления синтеза оснований Манниха, их высокая реакционная способность, а также широкий спектр практического применения синтезируемых продуктов обусловливают устойчивый научный интерес к данным соединениям и способствуют расширению их ассортимента [1–2].

Представленная работа включает два этапа. На первом этапе были проведены реакции алкилирования, на втором – реакции аминометилирования. В результате реакций алкилирования получены пара-(1-метилциклогексил)фенол и 2-(1-метилциклогексил)-4-метилфенол. Последующее аминометилирование полученных продуктов формальдегидом и анилином позволило синтезировать целевые соединения – 2-гидрокси-5-(1-метилциклогексил)бензилфениламин и 2-гидрокси-3-(1-метилциклогексил)-5-метилбензилфениламин.

В работе также представлены физико-химические свойства исходных веществ, использованных в реакциях алкилирования:

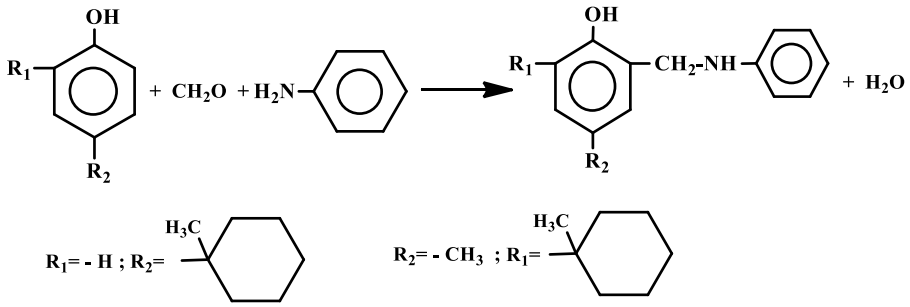
- Фенол (C_6H_5OH): $T_{пл.}$ – 40–42°C; $T_{кип.}$ – 182°C; ρ = 1.071 г/см³; n_D^{20} = 1.4503; молекулярная масса — 94 г/моль.
- *n*-Крезол (C_7H_7OH): $T_{пл.}$ – 35°C; $T_{кип.}$ – 202°C; ρ = 1.0347 г/см³; n_D^{20} = 1.5395; молекулярная масса – 108 г/моль.
- 1-Метилциклогексен (C_7H_{12}): $T_{кип.}$ – 110–111°C; ρ = 0.8200 г/см³; n_D^{20} = 1.4502; молекулярная масса – 96 г/моль.

Алкилирование осуществляли в лабораторной установке периодического действия с использованием гетерогенного катализатора КН-30М, предварительно модифицированного 10%-ной соляной кислотой. Применяемый катализатор считается экологически безопасным. Механизм реакций алкилирования основан на принципах электрофильного ароматического замещения (EAS). Химическое уравнение реакции приведено ниже.



На основании изученения влияний кинетических параметров на выход целевых продуктов и селективность процесса были найдены оптимальные условия для реакции каталитического алкилирования . Для синтеза пара-(1-метилциклогексил)фенола было установлено, что при температуре 115°C, мольном соотношении фенол:1-метилциклогексен = 1:1, продолжительности реакции 5.5 ч и количестве катализатора 8% (в расчёте на исходный фенол) выход пара-(1-метилциклогексил)фенола (на взятый фенол) составляет 81.4%, а селективность по целевому продукту – 91.8 %. Для получения 2-(1-метилциклогексил)-4-метилфенола: температура – 115°C; мольное соотношение п-крезол: 1-метилциклогексен – 1:1; продолжительность процесса – 5 ч; количество катализатора — 8% (в расчёте на исходный п-крезол). При проведении реакции в выявленных оптимальных условиях выход 2-(1-метилциклогексил)-4-метилфенола составил 77.3%, а селективность по целевому продукту – 93.5%.

Синтез метилциклогексилбензиламинов проводили в результате реакции пара-(1-метилциклогексил)фенола, либо 2-(1-метилциклогексил)-4-метилфенола с формальдегидом и анилином при температуре 70–80°C, продолжительности реакции 2ч. В указанных условиях выход целевых продуктов составляет 78–83%.



Аминометильные производные синтезированных метилциклогексилфенолов были испытаны в качестве антиоксидантов моторного масла М-8. Стабильность масла исследовали в соответствии с требованиями ГОСТ 11063–77 при температуре 200°C в течение 10 ч и скорости подачи кислорода 50 мл/мин. Результаты проведённых испытаний показали, что циклоамины, полученные на основе метилциклогексилфенолов, полностью соответствуют предъявляемым требованиям по всем показателям.

Список литературы

1. *Gurbanova U.R., Rasulov Ch.K., Naghiyeva M.V., Hajiyeva G.F., Salmanova Ch.K.* // Processes of Petrochemistry and Oil Refining. 2025. Vol. 26. N 4. P. 1144. DOI: 0.62972/1726-4685.2025.4.1144
2. *Rasulov Ch.K., Aliyeva N.M., Aghamaliyev Z.Z., Gasimova F.İ., Hamzayeva G.N.* // Processes of Petrochemistry and Oil Refining. 2024. Vol.25. N 2. P. 610. DOI: 10.62972/1726-4685.2024.2.610
3. *Расулов Ч.К.О., Рустамов С.Т.О., Нагиева М.В.Г.* // Вестник КНИИ РАН. Серия: Естественные и технические науки. 2025. № 1(20). С. 78. DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.20.1.008

СИНТЕЗ ФУРАНСОДЕРЖАЩИХ ФУРОНАФТОХИНОНОВ

***Демчук З.А.*, Озерова О.Ю., Макаренко С.В.**

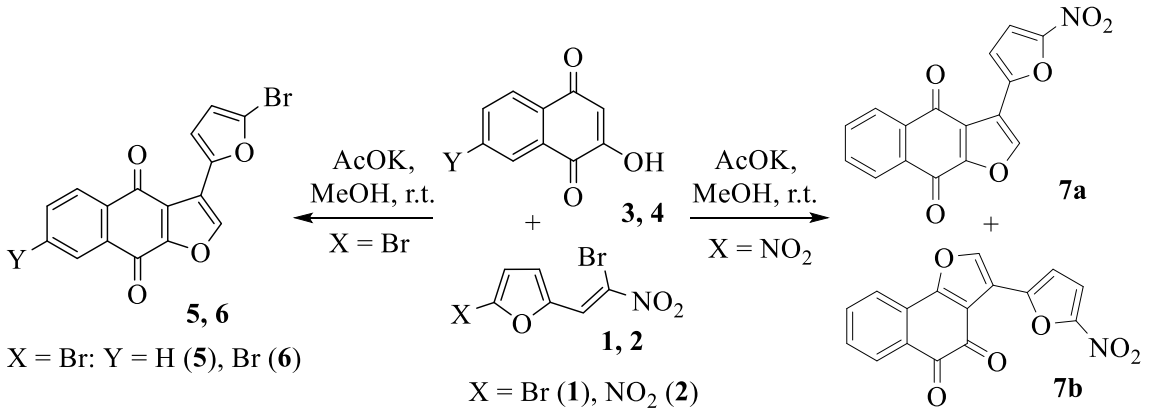
РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

kohrgpu@yandex.ru

Электронодефицитные фурансодержащие *гем*-бромнитроэтены способны вступать в реакции с С-нуклеофилами различной природы. Так, их взаимодействие с димедоном и дигидрорезорцином приводит к формированию фурансодержащих дигидробензофуранонов [1].

Нами изучено поведение 5-бром(нитро)фурил-1-бром-1-нитроэтенов **1**, **2** в реакциях с 2-гидроки-1,4-нафтохиноном **3** и его бромзамещенным аналогом **4** с целью получения замещенных фуронафтохинонов, которые, согласно литературным данным, могут представлять интерес в качестве биологически активных соединений, проявляющих противораковую активность [2].

На примере реакции 5-бром(нитро)фурил-1-бром-1-нитроэтенов **1**, **2** с 2-гидроки-1,4-нафтохиноном **3** подобраны оптимальные условия процесса (AcOK/MeOH, rt). Отметим, что реакция 5-бромфурил-1-бром-1-нитроэтена **1** с 2-гидроки-1,4-нафтохиноном **3** и 7-бром-2-гидрокси-1,4-нафтохиноном **4** приводит к образованию линеарного фуронафтохинона **5**, **8**, по данным спектров ЯМР ^{1}H, в то время, как 5-нитрофурил-1-бром-1-нитроэтен **2** с 2-гидроки-1,4-нафтохиноном **3** образует смесь линеарного и ангулярного изомеров (соотношение 1 : 1 по данным спектра ЯМР ^{1}H), которые успешно разделены методом колоночной хроматографии (тетрахлорметан : бензол = 2:1).



Строение полученных веществ **1-7** подтверждено данными спектров ЯМР ^{1}H и ^{13}C, а для изомера **7b**, дополнительно, - рентгеноструктурным анализом.

Список литературы

1. *Берестовицкая В.М., Макаренко С.В., Лысенко К.А., Елисеенко С.С., Байчурин Р.И.* // ЖОрХ. 2015. Т. 51. Вып. 9. С. 1312. DOI: 10.1134/S1070428015090134
2. Fan C., Lou S., Shen C., Liao J., Ni H., Chen S., Zhu Z., Hu X., Xie W., Zhao H., Cu S. // J. Med. Chem. 2024. Vol. 67. N 17. P. 15291. DOI: 10.1021/acs.jmedchem.4c00872

СИНТЕЗ ДИНИТРОСУЛЬФОДИЕНОВ И ИХ РЕАКЦИИ С НУЛЕОФИЛАМИ

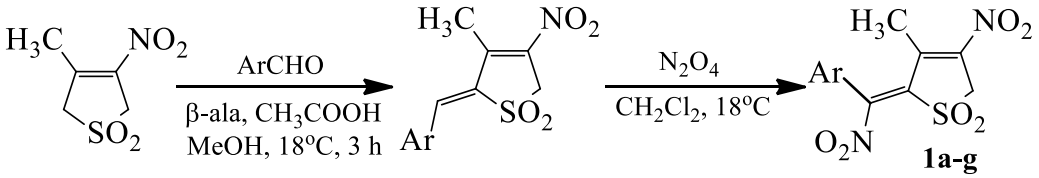
***Егорова А.Р.*, Братчикова В.Д., Ефремова И.Е.**

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

kohrgpu@yandex.ru

Сопряженные нитросульфодиены являются перспективными субстратами для конструирования новых типов линейных и циклических соединений. Интересные перспективы открывает химия *s*-трансфиксированных 1,4-динитросульфодиенов, способных к взаимодействию с нуклеофилами по двум электрофильным центрам [1].

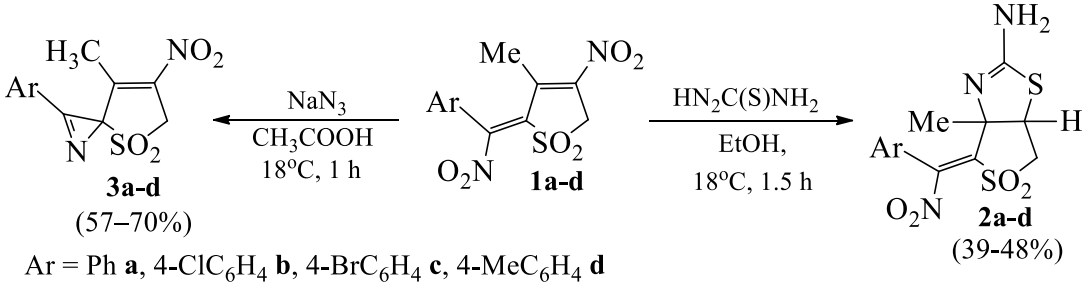
Нами модифицирована методика синтеза динитродиенов (**1a-g**) (*Схема 1*).



Ar = Ph **a**, 4-ClC_6H_4 **b**, 4-BrC_6H_4 **c**, 4-MeC_6H_4 **d**, 2-ClC_6H_4 **e**, 3-ClC_6H_4 **f**, 2,4-$Cl_2C_6H_3$ **g**

Схема 1

Установлено, что реакции динитродиенов (1a-d) с нуклеофилами могут протекать по двум конкурирующим нитроэтеновым фрагментам. Селективно по эндоциклическому нитроэтеновому фрагменту протекает взаимодействие диенов (**1a-d**) с тиомочевиной (EtOH, 18°C) с образованием оригинальных тиенотиазолов (**2a-d**). Однако, действие азида натрия (усл) осуществляется по экзоциклической нитровинильной системе с образованием спиросочленных нитросульфоленазиринов (**3a-d**) (*Схема 2*).



Ar = Ph **a**, 4-ClC_6H_4 **b**, 4-BrC_6H_4 **c**, 4-MeC_6H_4 **d**

Схема 2

Строение всех полученных соединений установлено на основании данных спектроскопии ИК, ЯМР ^{1}H, ^{13}C{^{1}H} с использованием гомо- и гетерокорреляционных экспериментов HMQC, HMBC, NOESY.

Список литературы

1. *Berestovitskaya V.M., Efremova I.E.* // Arkivoc. 2003. Part 13. P. 52. DOI: 10.3998/ark.5550190.0004.d07

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОИЗОМЕРИЗАЦИИ БЕНЗОКСИМОВ НИТРОПРОИЗВОДНЫХ ПРИРОДНЫХ ХЛОРИНОВ

Жамбеева И.М., ***Тихонов С.И., Грин М.А.***

МИРЭА – Российский Технологический Университет, Москва

irma_zhambeeva@mail.ru

Концепция фотофармакологии, основанная на управлении биологической активностью лекарственных соединений с помощью света, находит одно из ключевых применений в совершенствовании фотодинамической терапии (ФДТ). Синтез и изучение фотоизомеризации бензоксимов нитропроизводных природных хлоринов направлено на создание фотосенсибилизаторов нового поколения. Их уникальность заключается в способности под действием света определённой длины волны обратимо переключаться между неактивной и активной конформациями, обеспечивая как пространственно-временной контроль цитотоксичности, так и возможность фотохимического воздействия (генерация синглетного кислорода) непосредственно в опухолевом очаге.

Ключевым структурным элементом, обеспечивающим такую фотоуправляемую переключаемость, является оксимная связь -C=N- в составе бензоксимов, способная к обратимой фотоиндуцированной E/Z-изомерии. Конфигурационная изомерия фрагмента -C=N- (оксимная группа) подчиняется принципам E/Z-стереохимии, где заместители у атомов углерода и азота определяют пространственное расположение. Особый случай представляет собой атропоизомерия, возникающая, когда вращение вокруг этой же связи -C=N- оказывается стерически затруднённым. В результате, даже при отсутствии классических хиральных центров, могут существовать устойчивые конформеры - атропомеры, являющиеся оптическими изомерами, разделение которых возможно из-за высокого энергетического барьера вращения.

В рамках разработанной стратегии были синтезированы две пары изомерных конъюгатов на основе хлорина *е*6 и пирофеофорбида *а*, содержащих аминооксибензольный фрагмент. Исследование спектральных свойств показало, что фотоизомеризация в нитробензольном фрагменте эффективно индуцируется облучением на 530 и 620 нм, но не происходит при 400 нм и в области собственного поглощения фотосенсибилизатора. Наблюдаемые при облучении изменения в спектрах поглощения, флуоресценции и ^{1}H ЯМР коррелируют с изменением квантового выхода генерации синглетного кислорода, что указывает на тераностический потенциал системы.

Данные изменения спектральных свойств объясняются фотоиндуцированным нарушением/восстановлением сопряжения в ключевом фрагменте -C=N-O-Ph. При этом изомеры на основе пирофеофорбида *а* были идентифицированы как атропомеры.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП РТУ МИРЭА при поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения №075-15-2025-548 от 18.06.2025 г.

РЕАКЦИИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ 4-АМИНОФЕНИЛАЦЕТИЛЕНА К АРОМАТИЧЕСКИМ АЛЬДЕГИДАМ В ПРИСУТСТВИИ Rh (II) КАТАЛИЗАТОРА

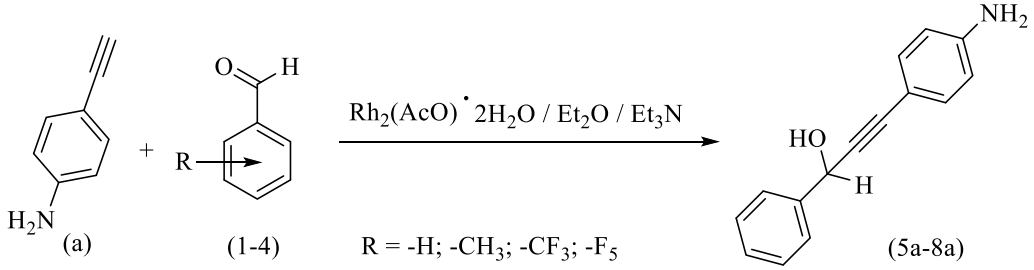
Зиядуллаев М.Э.[1], Нурманов С.Э.[2], Нурбоев Дж.О.[1], Аблокулов Л.К.

[1]ЧГПУ, Ташкентский область, [2]НУУз им. М.Улугбека, Ташкент, Узбекистан

ziyadullayev.91@mail.ru

Синтез ацетиленовых спиртов осуществлен путем асимметричного алкинилирования алифатических, ароматических и циклических альдегидов в присутствии бифункциональной комплексной каталитической системы $InBr_3$/BINOL/Cy_2NMe/CH_2Cl_2. Данный катализатор признан более эффективным по сравнению с другими методами благодаря одновременной каталитической активации субстрата и реагента [1].

В данной работе впервые разработан метод синтеза ацетиленовых спиртов, содержащих различные заместители в молекуле, на основе реакций бензальдегида и некоторых его гомологов с 4-этинил-*p*-аминофенилацетиленом с использованием комплексной каталитической системы $Rh_2(AcO)_4 \cdot 2H_2O/Et_2O/Et_3N$. Предложена следующая общая схема реакции:



В механизме реакции основной стадией является нуклеофильная атака родий-алкинильного комплекса по углероду карбонильной группы альдегида. На основании предложенного механизма реакции и выходов продуктов был установлен ряд относительной реакционной способности синтезированных соединений (1-4). Скорость реакции прямо пропорциональна электрофильности карбонильного углерода, и было определено, что ряд эффективности соответствует 8a > 7a > 5a > 6a. Данную закономерность можно объяснить индуктивным эффектом заместителей в альдегидном фрагменте.

Несмотря на то, что целевые ацетиленовые спирты были синтезированы с хорошими выходами, за счет наличия группы $–NH_2$ в 4-аминофенилацетилене наблюдалось частичное образование побочных продуктов, таких как основания Шиффа, димеры и ацетатные эфиры. Строение, состав и физико-химические константы синтезированных соединений, а также результаты квантово-химических расчетов подтверждены современными методами анализа.

Список литературы

1. *Wang M., Jiang S., Lu X.-X., Zhang K., Yuan Z.-Y., Xu R.-L., Zhao B.-T., Wu A.-X.* // Org. Biomol. Chem. 2023. Vol. 21. N 29. P. 5949. DOI: 10.1039/D3OB00902E

СИНТЕЗ ПИРАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

***Ибрагимова Я.И.*, Говди А.И.**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

e-mail: st096434@student.spbu.ru

Конденсированные гетероциклические системы, имеющие большую сопряженную систему и сочетающие различные азотсодержащие фрагменты, представляют значительный интерес, так как такие системы способны обладать флуоресцентными свойствами. Особое внимание привлекают структуры на основе пиразола, в литературе подобные соединения часто используются для создания флуоресцентных меток для биовизуализации [1,2].

Однако в литературе практически не встречаются исследования, посвященные синтезу полигетероциклических соединений на основе пиразолов, содержащих фенильный и 1,2,3-триазольный циклы (рис.1).

Поэтому, исходя из вышесказанного, в данной работе нами были исследованы способы получения полициклических соединений.

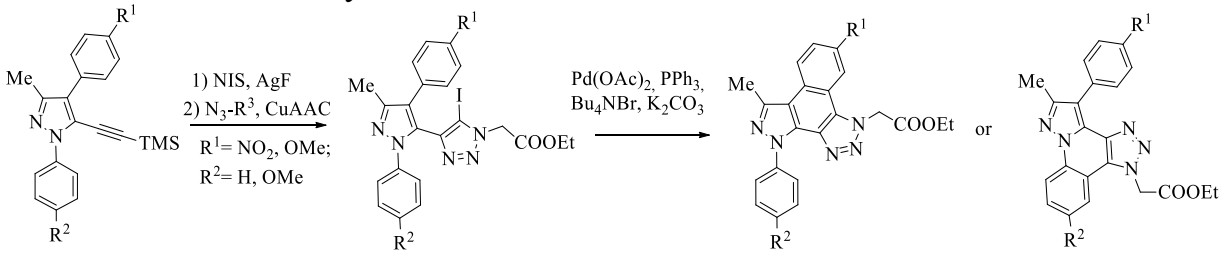


Рисунок 1. Синтез полициклических соединений

В качестве основного подхода для построения полициклической системы нами была использована внутримолекулярная C-H функционализация, позволяющая эффективно формировать новые полигетероциклы, объединяя свойства гетероциклов, входящих в состав, и открывающая перспективы для создания новых соединений с уникальными физико-химическими свойствами.

Список литературы

1. *Janczy-Cempa E., Mazuryk O., Sirbu D., Chopin N., Zarnik M., Zastawna M., Colas C., Hiebel M. A., Suzenet F., Brindell M.* // Sens. Actuators B. 2021. Vol. 346. Art. № 130504. DOI: 10.1016/j.snb.2021.130504
2. *Yang X.-Z., Sun R., Guo X., Wei X.-R., Gao J., Xu Y.-J., Ge J.-F.* // Dye Pigment. 2020. Vol. 173. Art. № 107878. DOI: 10.1016/j.dyepig.2019.107878

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 25-23-01179. Исследования проведены с использованием оборудования ресурсных центров Научного парка СПбГУ: «Магнитно-резонансные методы исследования», «Методы анализа состава вещества»

ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫЕ ЦИКЛОПРОПАНЫ С ДИАЛКОКСИФОСФОРИЛЬНОЙ ГРУППОЙ В КАЧЕСТВЕ АКЦЕПТОРА: СИНТЕЗ И СВОЙСТВА

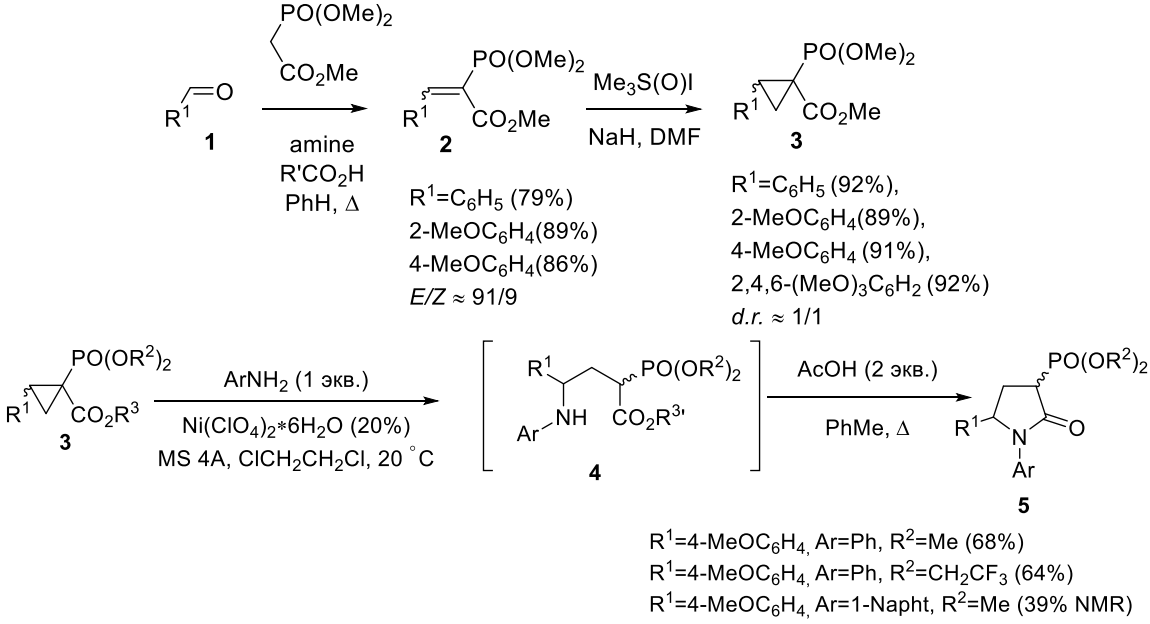
***Игнатьева Е.М.*[1], Кулешов А.В.[1], Андреев И.А.[2], Ратманова Н.К.[2], Иванова О.А.[2], Трушков И.В.[1]**

[1]ИОХ РАН, Москва, [2]МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

ignatyevliza@gmail.com

Целью настоящей работы стал синтез ДАЦ (донорно-акцепторных циклопропанов), содержащих диалкоксифосфорильную группу, и изучение их реакционной способности**.**

В результате был получен широкий круг α-фосфоноакрилатов 2, которые были далее превращены в соответствующие ДАЦ 3, полученные в виде смеси диастереомеров, соотношение которых зависит от природы альдегида и условий проведения реакции. Полученные циклопропаны раскрывали анилинами и превращали в соответствующие пирролидоны 5 по аналогии с превращениями, описанными ранее для циклопропан-1,1-дикарбоксилатов [1].



В дальнейшем планируется изучить взаимодействие образующихся диалкил(5-арил-2-оксопирролидин-3-ил)фосфонатов с альдегидами и кетонами (реакция Хорнера-Уодсворта-Эммонса). Предварительные эксперименты показали, что при использовании альдегидов реакция обычно дает смесь изомеров. Стоит отметить, что полученные таким образом структуры имеют выраженную биологическую активность и могут применяться в качестве ноотропов и антидепрессантов.

Список литературы

1. *Boichenko M.A., Plodukhin A.Yu., Shorokhov V.V., Lebedev D.S., Filippova A.V., Zhokhov S.S., Tarasenko E.A., Rybakov V.B., Trushkov I.V., Ivanova O.A.* // Molecules 2022. Vol. 27. N 23. Art. № 8468. DOI: 10.3390/molecules27238468

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-13-00255.

СЕЛЕКТИВНОЕ АЛКИЛИРОВАНИЕ БЕНЗОЛА МЕТАНОЛОМ И ЭТАНОЛОМ НА La/P МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕОЛИТАХ ZSM-5

Искендерова А.А.[1], Мамедов Э.С.[2], Гахраманов Т.О.[1], Мамедов С.Э.[1]

[1]Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан
[2]Бакинский филиал Московского Государственного Университета им. М.В Ломоносова, Баку, Азербайджан
ay_nur91@mail.ru

Одним из основных направлений нефтехимической промышленности является алкилирование ароматических углеводородов с целью получения этилбензола и *пара*-замещенных диалкилбензолов. Этилбензол и *п*-ксилол являются двумя крупнейшими производными бензола в коммерческом плане. Однако, до сих пор более 40 % мировых мощностей по производству этилбензола использует процесс алкилирования по Фриделю-Крафтсу на основе $AlCl_3$, который имеет большие экономические, экологические и технологические проблемы [1]. Процессы алкилирования, катализируемые цеолитами типа ZSM-5, Beta и MCM-22 обладают высокой экологичностью, что привело к разработке цеолитных катализаторов для процессов алкилирования бензола этиленом и пропиленом [2]. Большой практический интерес вызывает альтернативные пути получения этилбензола и *п*-ксилола путем использования в качестве алкилирующих агентов метанола и этанола.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния двухкомпонентного модифицирования цеолита HZSM-5 лантаном и фосфором на кислотные, текстурные, каталитические характеристики и селективность образования этилбензола и *п*-ксилола в процессах метилирования и этилирования бензола.

Для приготовления катализаторов использовали коммерческий цеолит ZSM-5 с силикатным модулем 40. Для перевода в Н-форму цеолит прокаливали при 550 ^{0}C в течение 4 ч. Цеолит пропитывали водными растворами нитрата лантана и гидрофосфата аммония, при 80 ^{0}C течение 6 часов, после чего провдили сушку (110 ^{0}C, 4ч) и прокаливали (500 ^{0}C, 4ч).

Эксперименты проводили в проточной установке с неподвижным слоем катализатора (2 г) загруженный в кварцевый реактор в диапазоне температур 300-450 ^{0}C, мольном отношении C_6H_6 к CH_3OH и C_2H_5OH равном 2:1, объемной скорости сырья 1.0 ч$^{-1}$ в присутствии водорода.

Рентгенофазовый анализ немодифицированного и модифицированных катализхаторов проводили с помощью рентгеновского дифрактометре RIGAKU “MINIFLEX” с Cu_α- излучением (λ=0.15046 нм). Текстурные характеристики катализаторов изучали методом низкотемпературной адсорбции азота. Изотерми адсорбции/десорбции азота снимали -196 ^{0}C на приборе. “Micromeritics-2010”. Перед проведением экспериментов проводили дегазацию катализаторов при 200 ^{0}C под давлением $1\cdot10^{-4}$ Торр в течение 4 часов. Кислотные характеристики катализаторов изучали методо ТПД-NH_3.

Рентгенограммы исходного цеолита HZSM-5 и модифицированных катализаторов La-HZSM-5, P-HZSM-5 и La-P-HZSM-5 показали, что после модифицирования соединениями лантана и фосфора общая структура цеолита не изменяется. Дифракционные пики исследуемых образцов соответствуют пикам цеолита MFI. Кроме того, в образцах не было обнаружено никаких дифракционных пиков характерных для оксидов лантана и фосфора.

Алкилирование бензола этанолом и толуола метанолом в присутствии немодифицированного цеолита HZSM-5 протекает неселективно. Выявлено наряду с алкилированием протекает ряд параллельных реакций: диспропорционирование, трансалкилирование, изомеризация и разложение спирта, что приводит к снижению селективности целевого продукта и дезактивации катализатора. Модифицирование HZSM-5 фосфором снижает конверсию бензола, но значительно повышает селективность образования этилбензола и *n*-ксилола. При температуре 450 ^{0}C селективность по этилбензолу составляет 65.6%. На этом же образце при температуре 350 ^{0}C селективность по п-ксилолу возрастает до 68.8%. Дополнительное модифицирование P-содержащего образца лантаном в количестве 4.0 мас% подавляет изомеризацию этилбензола в ксилол, значительно снижает содержание ароматических углеводородов C_{9+} и тем самым увеличивает селективность по этилбензолу до 72.5%. Образец 4% La, 4% P HZSM-5 полученный двухкомпонентным модифицированием проявляет также высокую пара-селективность в алкилировании толуола метанолом. На этом образце при 350 ^{0}C селективность по п-ксилолу достигает 78.6%.

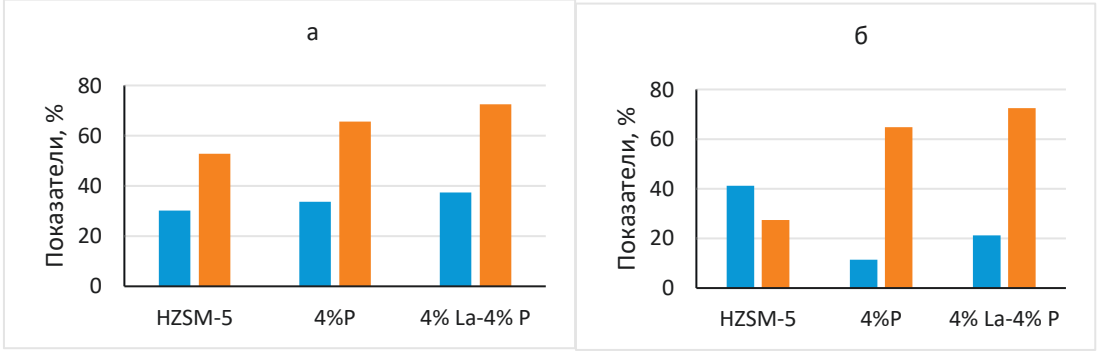


Рис.1 Зависимость (а) выхода этилбензола и селективности по этилбензолу (ЭБ), а также конверсии толуола (б) и селективности по *n*-ксилолу от состава катализатора (T=350 °C)

Показано, что повышение селективности по этилбензолу и *n*-ксилолу связано значительным снижением плотности сильных кислотных центров, образованием новых Льюисовских центров и снижением пор цеолита в результате модифицирования.

Список литературы

1. *Han X., Zuo J., Wen D., Yuan Y.* // Chinese J. Catalysis. 2022. Vol. 43. N 4. P. 1156. DOI: 10.1016/S1872-2067(21)63975-X
2. *Gao K., Li S., Wang L., Wang W.* // RSC. Adv. 2015. Vol. 5. N 56. P. 45098. DOI: 10.1039/C5RA05041C

СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ БИТУМНЫХ ГЕРМЕТИКОВ С ПОЛИМЕРНО-ВОЛОКОННЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Кадашева Ж.К. [1]***, Наукенов М.Ж.*** [2]
[1]*Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан*
[2]*ТОО "Kazakhstan Petrochemical Industries Inc.", Казахстан*
Zh.kadasheva@mail.ru

Развитие дорожного строительства требует создания герметизирующих материалов, сохраняющих эксплуатационные характеристики в условиях комплексных механических и климатических нагрузок, включая температурные циклы, высокие контактные напряжения и воздействие агрессивных сред. Традиционные битумные герметики обладают ограниченной долговечностью, склонны к термопластическим деформациям, образованию микротрещин и деградации адгезионных свойств, что снижает срок службы дорожных покрытий. В этой связи актуальной является разработка модифицированных битумных композитов с повышенной реологической стабильностью, трещиностойкостью и адгезионной прочностью. Перспективным направлением является модификация битума термоэластопластами, в частности стирол-бутадиен-стирольным каучуком (SBS), формирующим пространственно-сетчатую структуру, обеспечивающую рост упруго-эластических характеристик и снижение температурной чувствительности материала. Согласно литературным данным, введение SBS в концентрациях 3–7 мас.% приводит к формированию полимерно-битумных систем с выраженным вязкоупругим поведением и повышенной устойчивостью к деформациям и трещинообразованию [1, 2]. Дополнительное армирование целлюлозными волокнами и нанофибрами рассматривается как эффективный способ повышения механической прочности, адгезии и устойчивости к усталостным разрушениям за счёт развитой межфазной адгезии и высокой удельной поверхности [3].

В рамках работы предлагается реологически ориентированный подход к разработке устойчивых дорожных герметиков на основе битумов марок 50–70 и 70–100, модифицированных SBS-каучуком производства ПАО «СИБУР» с концентрацией до 7 мас.% и армированных целлюлозными волокнами Карагандинского целлюлозно-бумажного комбината в диапазоне 3–5 мас.% от массы битума. Предполагается, что комбинированное воздействие полимерной модификации и волоконного армирования позволит сформировать иерархически организованную структуру, в которой SBS-фаза обеспечивает вязкоупругую стабильность при высоких температурах, характерных для летнего периода в резко-континентальном климате, а целлюлозные компоненты выполняют функцию микромеханического армирования, повышения адгезионных характеристик и снижения склонности к колейности и хрупкому разрушению.

В качестве методов исследования планируется использование динамической реологии для определения комплексного модуля упругости (G*), фазового угла (δ) и температурно-частотных зависимостей вязкоупругих параметров композитов в диапазоне от –20 до +90 °C. Морфологическая организация композиций будет исследоваться методами оптической и атомно-силовой микроскопии, а ИК-спектроскопия (FTIR) — для выявления межмолекулярных взаимодействий и изменений химической структуры битума при модификации. Адгезионные свойства предполагается оценивать методами испытаний сцепления с минеральными заполнителями, включая условия воздействия влаги.

Ожидается, что разработанные составы будут характеризоваться увеличением комплексного модуля G* в 2–4 раза по сравнению с немодифицированными битумами в интервале температур от +10 до +60 °C, снижением фазового угла δ на 10–25°, увеличением динамической вязкости при 60 °C в 1.5–3 раза, ростом адгезионной прочности на 30–60% и повышением сопротивления циклическому разрушению и трещинообразованию на 40–70%. Введение SBS должно обеспечивать формирование устойчивой полимерной сетки, повышающей сопротивление ползучести и остаточным деформациям, тогда как целлюлозные волокна будут способствовать росту трещиностойкости и усталостной долговечности за счёт микромеханического армирования и стабилизации микроструктуры. Ожидается также снижение водочувствительности композитов и повышение стабильности адгезионных характеристик в условиях влагонасыщения.

Таким образом, предлагаемый реологический подход к проектированию армированных SBS-битумных герметиков формирует научно обоснованную концепцию создания устойчивых композиционных материалов для дорожного строительства, ориентированную на управление структурой, реологическими параметрами и межфазными взаимодействиями, что позволяет повысить долговечность дорожных покрытий и снизить эксплуатационные затраты за счёт увеличения межремонтных интервалов и устойчивости материалов к деградационным процессам.

Список литературы

1. *Emtiaz M., Rahman M.T., Ahmed A., Islam M.R.* // Civil Engineering Journal. 2023. Vol. 4. N 3. P. 901. DOI: 10.3390/civileng4030049
2. *Ghabchi R., Castro M.P.P.* // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 286. Art. № 122922. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122922
3. *Lu X., Isacsson U.* // Construction and Building Materials. 1997. Vol. 11. N 1. P. 23. DOI: 10.1016/S0950-0618(96)00033-5

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26100713 Фундаментальные основы создания устойчивых асфальтобетонных покрытий с использованием вторичных полимеров и лигнина для решения экологических и инфраструктурных проблем).

СИНТЕЗ АМИНООКСИБЕНЗОЛСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДНЫХ ХЛОРИНОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕРАНОСТИКЕ

***Короткевич Е.И.*, Тихонов С.И., Грин М.А.**

МИРЭА – Российский Технологический Университет, Москва

katya.karotkevich@mail.ru

Использование фотосенсибилизаторов (ФС) в качестве тераностических агентов – это перспективное направление, основанное на их уникальной способности выполнять две функции под действием света определенной длины волны. Диагностическая функция реализуется за счет флуоресценции ФС. Терапевтическая функция активируется светом другой, обычно более длинноволновой, длины волны. Поглощая эти фотоны, тот же самый ФС генерирует активные формы кислорода, которые вызывают гибель клеток.

Хлорины, содержащие гидроксиламин в своей структуре, являются удобной платформой для введения ароматических структур, содержащих акцепторные группы по Sn ареновому механизму.

Было обнаружено, что для данных соединений возможны следующие варианты изомерии: E/Z относительно пары электронов азота, цис/транс относительно двойной связи в пиррольном кольце A, π/2π изменения системы (рис. 1a). Для использования ФС в качестве тераностического агента наиболее важным является возможность E/Z переключения.

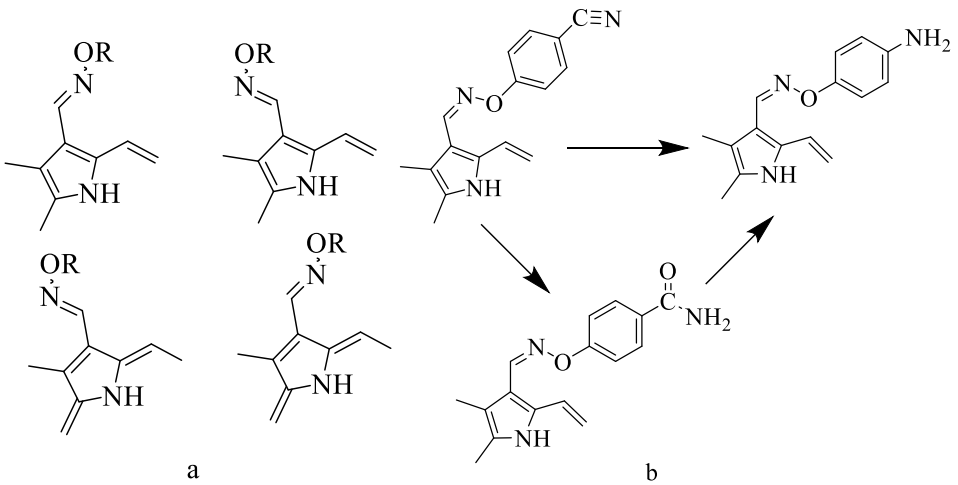


Рисунок 1. a) Варианты изомерии b) Предлагаемые схемы синтеза

Однако было выявлено, что для ФС с акцепторными группами переключение такого рода невозможно. Поэтому в данном исследовании нами были разработаны стратегии модификации хлорина *e*6 донорным заместителем (рис 1b).

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП РТУ МИРЭА при поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения №075-15-2025-548 от 18.06.2025 г.

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОИЗВОДНЫХ ПРИРОДНЫХ ХЛОРИНОВ С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ЭКЗОЦИКЛОМ Е

Картава Ю.С., ***Тандаре Т.Ф., Зотов В.В., Погорилый В.А., Грин М.А.***

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

kartava02@mail.ru

Тетрапиррольные макроциклические соединения, в частности производные природных хлоринов, рассматриваются в качестве перспективных агентов для антимикробной фотодинамической терапии (аФДТ) вследствие их комплексного механизма действия. Функционируя в роли фотосенсибилизаторов (ФС), данные соединения под действием света определённой длины волны генерируют активные формы кислорода (АФК). Последние, взаимодействуя с ближайшими биомолекулами, индуцируя их повреждения, что в конечном итоге приводит к гибели бактериальных клеток.

В дизайне ФС активно применяется стратегия биоизостерических замен. В частности, замещение атома кислорода на серу в гетероциклических системах рассматривается как эффективный подход к модификации фотофизических и фармакокинетических параметров молекул.

Перспективной стратегией является создание молекул, которые содержат анелированные гетероциклические фрагменты, родственные известным ингибиторам биоплёнок (таким как лактонные производные и их аналоги) и включают биоизостерические модификации (например, восстановленные и тио-аналоги) для оптимизации их функций в качестве фотоактивных агентов. Такой подход направлен на создание препаратов двойного действия, способных не только непосредственно уничтожать микроорганизмы под воздействием света, но и подавлять механизмы формирования устойчивых биоплёнок.

В настоящей работе разработаны стратегии синтеза производных природных хлоринов с аннелированными гетероциклами лактонных и имидных производных (Рис. 1), которые потенциально могут быть использованы в качестве перспективных ФС для аФДТ.

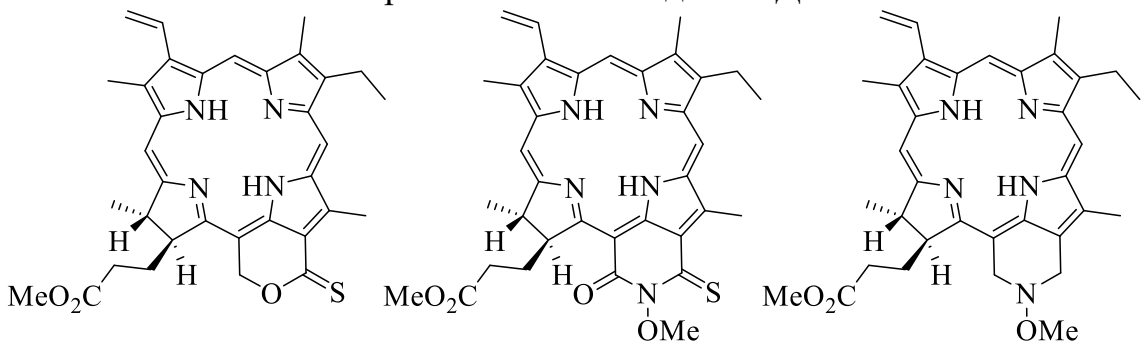


Рисунок 1. Схемы синтезированных соединений

Работы выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 075-00727-25-05 от 20.03.2025 г.; FSFZ-2024-0013).

ПОЛУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ 3,5-ДИНИТРОБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ

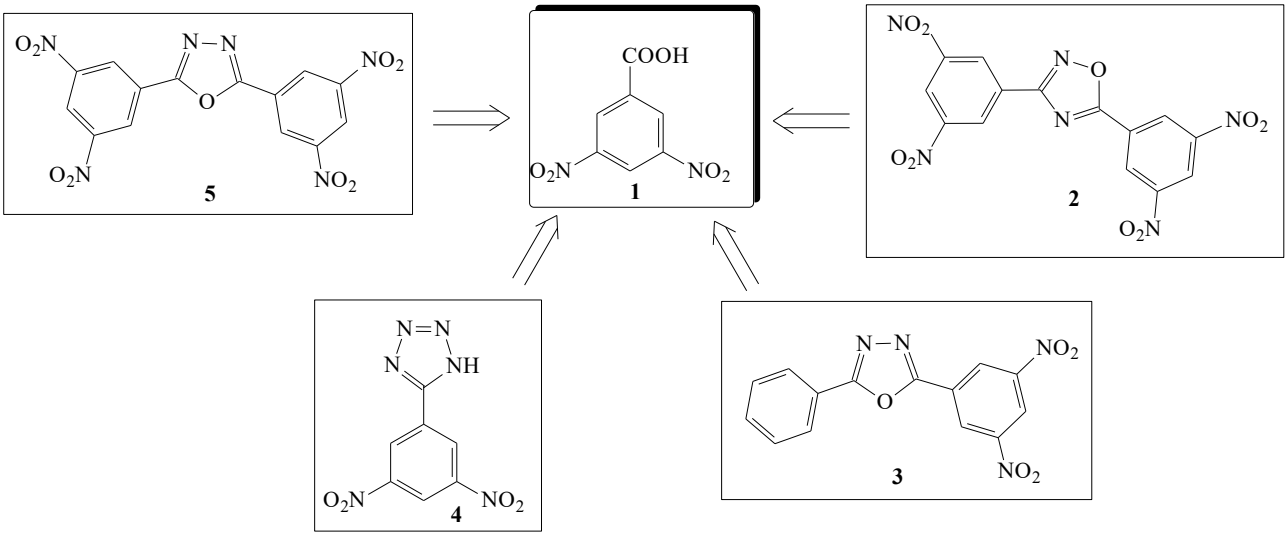
Колчин Д.В.*, *Путис С.М.

ФГУП «СКТБ «Технолог», Санкт-Петербург

Sergey_mi79@mail.ru

Производные 3,5-динитробензойной кислоты (ДНБК) проявляют высокую биологическую активность [1-2]. Данные соединения обладают противогрибковой активностью [1] и противотуберкулезной активностью *in vitro* [2]. В настоящее время производные ДНБК исследуются в качестве активных веществ против штаммов *M.tuberculosis* (в частности H37Rv-GFP), а также они представляют интерес как антагонисты к *Mycobacterium,* т.е. обладающих противомикробным действием [3]. Карбоксильная группа в ДНБК является реакционным фрагментом, из которого возможно получить различные гетероциклические соединения, такие как оксадиазолы (1,2,4- и 1,3,4-), тетразолы (являющиеся полными азотными аналогами карбоксильной группы) и др. Гетероциклические соединения полученные из ДНБК, благодаря наличию двух биологически активных фрагментов (динитрофенильного и гетероциклического) возможно могут обладать высокой биологической активностью, поэтому настоящая работа является актуальной.

Нами были синтезированы некоторые гетероциклические производные на основе ДНБК в соответствии со следующей схемой ретросинтетического анализа:



Нами была спрогнозирована оценка биологической активности синтезированных соединений с помощью программного продукта PASS Online. Установлено, что все полученные соединения **2 – 5** выступают в качестве ингибитора химозина (снижают активность сычужного фермента), используемого для свертывания молока в сыроделии [3]. Соединение **5**

проявило активность как агонист целостности мембраны, т.е. повышающий стабильность, качество и состояние мембраны, что способствовало бы нормальному функционированию клеточных мембран. Производное **2** возможно использовать при лечении отторжения трансплантата.

Строение полученных всех полученных соединений охарактеризовано данными физико-химических методов ИК, УФ и ЯМР (^{1}H, ^{13}C).

Список литературы

1. *Павлюкова Ю.Н., Шашурина Д.Н., Островский В.А.* // Известия СПбГТИ (ТУ). 2022. Т. 87 № 61. С. 57. DOI: 10.36807/1998-9849-2022-61-87-57-61
2. *Wang M., Gao L., Taiwaikuli M., Mei H., Wang T., Huang X.* // J. Chem. Eng. Data. 2022. Vol. 67. N 9. P. 2833. DOI: 10.1021/acs.jced.2c00369
3. *Guo Y., Zhang H., Yan C., et. al.* // Nat. Chem. Biol. 2023. Vol. 19. N 4. P. 468. DOI: 10.1038/s41589-022-01224-y

ПОЛУЧЕНИЕ УЗКОДИСПЕРСНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОЧАСТИЦ РАЗЛИЧНОЙ МОРФОЛОГИИ НА ОСНОВЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОФЛЮИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

***Корлякова П.А.*[1], *Ковтун И.Д.*[1,2], *Седуш Н.Г.*[2]**

[1]МИРЭА - Российский технологический университет, Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, [2]ФГБУН Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия
E-mail: korlyakova.polina@gmail.com

Получение полимерных суспензий с монодисперсным распределением частиц по размерам является актуальной научно-технической задачей, что обусловлено широким спектром их потенциального применения. Особую значимость этот класс материалов приобретает в медико-биологических областях, где они выступают основой для создания систем управляемого высвобождения фармацевтических препаратов. Такие системы позволяют преодолеть ограничения традиционных лекарственных форм: обеспечить пролонгированное действие, снизить частоту введения, минимизировать побочные эффекты и повысить биодоступность терапевтических агентов. Микрочастицы на основе алифатических полиэфиров, таких как поли-D,L-лактид (PDLA), поли-L-лактид (PLLA), поли(ε-капролактон) (PCL), являются идеальными платформами для систем доставки лекарственных средств благодаря своей биосовместимости, способности к биоразложению до нетоксичных метаболитов и возможности настройки кинетики высвобождения лекарственного средства [1].

Профиль высвобождения лекарства определяется кинетикой деградации полимерной матрицы, которая главным образом зависит от химической структуры, кристалличности и гидрофобности полимера, а так же от морфологии и диаметра микрочастиц. Аморфный PDLA подвергается быстрой объёмной эрозии, что часто приводит к трёхфазному профилю высвобождения с характерным начальным быстрым выбросом (burst-effect), периодом задержки и завершающей фазой ускоренного высвобождения, тогда как полукристаллический PCL деградирует медленно по механизму поверхностной эрозии, обеспечивая сверхдлительное высвобождение. Это различие позволяет целенаправленно создавать системы для среднесрочной (PLA) или долгосрочной (PCL) доставки. Перспективным направлением является конструирование анизотропных частиц Януса, сочетающих PDLLA и PCL. В таких частицах домен PDLLA обеспечивает начальный выброс препарата, а домен PCL — длительное поддерживающее высвобождение, что позволяет реализовать двухфазную кинетику, необходимую для терапии, требующей как ударной, так и поддерживающей дозы. А узкое распределение частиц по

размерам позволяет добиться точной настройки и предсказуемости кинетики высвобождения лекарственного вещества [2,3].

Работа посвящена получению микрофлюидным методом микрочастиц, используемых в качестве носителей лекарственных средств, на основе биоразлагаемых синтетических полимеров поли(ε-капролактона) и поли-D,L-лактида с узким распределением частиц по размерам, Cv < 1 % , а также частиц Януса.

Получение частиц осуществлялось на установке Dolomite Microfluidics. Для этого подготовленный раствор полимера и водный раствор поливинилового спирта (ПВС) подавали насосами с заданным расходом в каналы микрофлюидного чипа с диаметром каналов 100 мкм, в котором происходила генерация капель эмульсии раствора полимера, стабилизированных ПВС. Полученную эмульсию собирали в стеклянную виалу, после чего для формирования конечных полимерных частиц виалу выдерживали на воздухе до полного испарения хлористого метилена. Для получения микрочастиц были использованы растворы поли(ε-капролактон) (Mw = 80 кДа) и поли-D,L-лактид (Mw = 220 кДа) в метилене хлористом следующего состава: раствор PDLLA, раствор PCL, раствор PDLLA:PCL с массовым соотношением 1:1. На рис.1 приведены СЭМ-изображения полученных микрочастиц с диаметрами от 22.5 до 44.0 мкм и узким распределением частиц по размерам Cv < 1% .

Рис. 1. Микрочастицы на основе поли-D,L-лактида (**А**), поли(ε-капролактона) (**Б**) и частицы Януса из поли-D,L-лактида и поли(ε-капролактона) (**В**)

Таким образом, в работе показана возможность с использованием микрофлюидной технологии получать узкодисперсные полимерные микрочастицы на основе поли-D,L-лактида, обеспечивающие быстрое высвобождение лекарственного средства, поли(ε-капролактона) обеспечивающих более длительное высвобождение, а также анизотропные частиц Януса, объединяющих быструю и длительную фазы высвобождения для комплексной терапии, что является основой для разработки систем доставки лекарств с контролируемой кинетикой.

Список литературы

1. *Vlachopoulos A., Karlioti G., Balla E., Daniilidis V., Kalamas T., Stefanidou M., Bikiaris N.D., Christodoulou E., Koumentakou I., Karavas E., Bikiaris D.N.* // Pharmaceutics. 2022. Vol. 14. N 2. P. 359. DOI: 10.3390/pharmaceutics14020359
2. *Fredenberg S., Wahlgren M., Reslow M., Axelsson A.* // Int. J. Pharm. 2011. Vol. 415. N 1-2. P. 34. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2011.05.049
3. *Dash T.K., Konkimalla V.B.* // J. Controlled Release. 2012. Vol. 158. N 1. P. 15. DOI: 10.1016/j.jconrel.2011.09.064

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (госзадание FFSM-2025-0003).

СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И ПРОПИЛГАЛЛАТА: РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Коршунов А.А. [1], ***Макаров Г.И.*** [2], ***Кадашева Ж.К.*** [3], ***Наукенов М.Ж.*** [4], ***Имангалиева А.У.*** [5]

[1]*Московский политехнический университет, Москва, Россия*

[2]*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

[3]*Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан*

[4]*ТОО "Kazakhstan Petrochemical Industries Inc.", Казахстан*

[5]*Атырауский университет нефти и газа им. С.Утебаева, Атырау, Казахстан*

Sasha27082002@mail.ru

Известно, что полипропилен (ПП), как и ряд других термопластов может менять свои свойства в ходе термического воздействия на него. Высокие температуры и механические деформации сопровождают полипропилен при формировании из него формованных изделий. Часто для переработки ПП используют экструдеры, в рабочих узлах которых создаются высокие напряжения при температурах более 150°С. Для ПП такие критические условия переработки приводят к деструкции макромолекул полимера. Снижение молекулярной массы полимера сопровождается падением вязкости и изменением упругих свойств расплавов.

Для исключения деструкционных процессов в ПП предлагается использовать пропилгаллат, который вводится в систему на стадии получения расплава. В качестве базового полимера использовали полипропилен Бален 01030. В который вводили до 0.2% пропилгаллата. Реологические свойства расплавов изучали на ротационном реометре RheoWin MARS 60 при температуре 185°С. Для моделирования реальных условий переработки использовали двухшнековый лабораторный экструдер, в котором система подвергалась многократной продолжительной переработке.

Показано, что введение в систему пропилгаллата позволяет снизить термоокислительную деструкцию ПП, что отмечается в сохранении вязкостных характеристик расплава (рис. 1).

Изучение стабильности расплава во времени при температуре показали, что динамическая вязкость (η) систем с антиоксидантом остается практически постоянной.

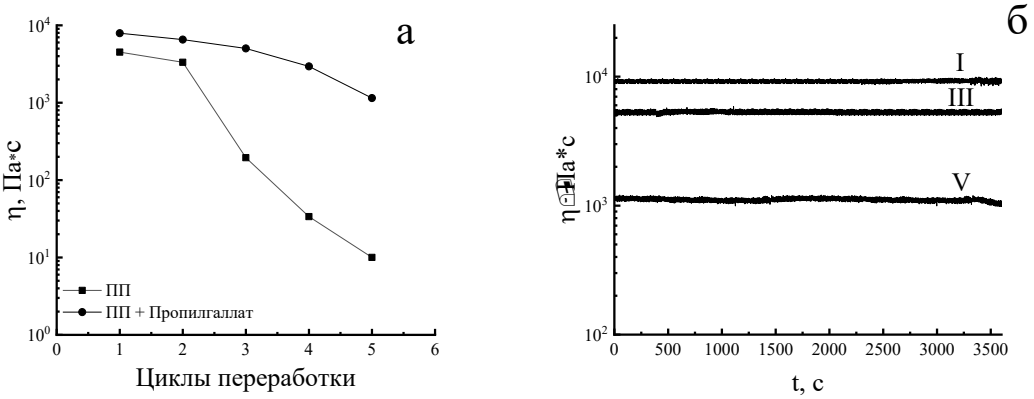


Рисунок 1. Зависимость вязкости расплавов от числа циклов переработки ПП (а), Временные зависимости динамической вязкости расплавов ПП в зависимости от количества циклов переработки (б).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №BR28713197 Каспийский центр устойчивых инноваций: научно-академическое продвижение альтернативных решений для перехода региона к более экологичному будущему).

СИНТЕЗ И ФОТОХИМИЯ ОРТО-БИГЕТАРИЛХАЛКОНОВ НАФТОФУРАНОВОГО РЯДА

Крылова М.А[1,2], Волков Е.С.[1,2], Захаров А.В.[2], Кожевникова Е.С.[1], Ширинян В.З.[2]

[1]Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва

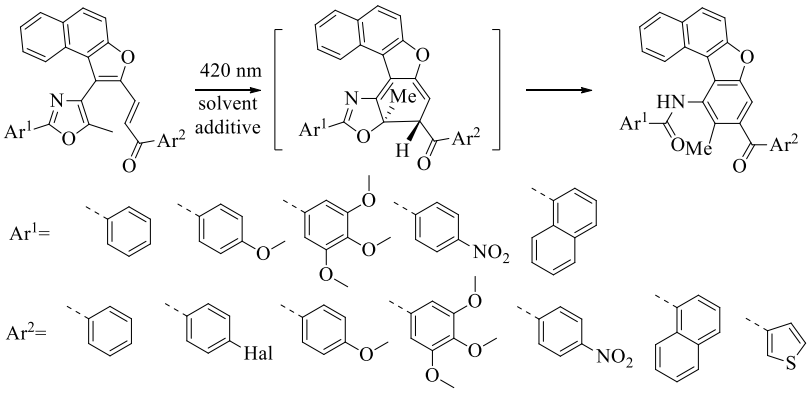
[2]Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН, Москва

merikrkrylova@yandex.ru

Важной фотохимической реакцией, применяемой в органическом синтезе и фотохимии, является 6π-электроциклизация диарилэтенов/стильбенов (реакция Мэллори). Она позволяет получать труднодоступные соединения, такие как производные фенантрена и сложные полиароматические структуры, которые находят применение в создании биоактивных веществ, полупроводников, флуорофоров и других функциональных материалов.

Ранее в нашей лаборатории было найдено, что диарилэтены с пятичленным гетероциклом вступают в эффективную скелетную фотоперегруппировку с раскрытием цикла, что открывает путь к бензоаннелированию (гетеро)ароматических систем [1].

В данной работе для расширения возможностей скелетной фотоперегруппировки и разработки нового метода синтеза полигетероароматических соединений исследована фотохимия орто-бигетарилхалконов – аналогов диарилэтенов. Хотя эти субстраты, содержащие гексатриеновый фрагмент, также способны к скелетной фотоперегруппировке, ключевое отличие – замещение одного ароматического кольца на винильную группу – предопределяет конкуренцию альтернативных процессов, таких как E/Z-фотоизомеризация, [2+2]-фотоциклоприсоединение.



Список литературы

1. *Lvov A.G., Shirinian V.Z., Zakharov A.V., Krayushkin M.M., Kachala V.V., Zavarzin I.V.* // J. Org. Chem. 2015. Vol. 80. N 22. P. 11491. DOI: 10.1021/acs.joc.5b02237

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-73-20098.

IN SILICO ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛАКТОФЕРРИНА С НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫМИ ЛИГАНДАМИ В КОНТЕКСТЕ РАНОЗАЖИВЛЯЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

Кудашева А.С. [3]***, Халеев В.С.*** [1,2]***, Холина С.И.*** [3]***, Лютова Ж.Б.*** [1,2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия*

[2] *Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт», Гатчина, Россия*

[3] *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург, Россия*

E-mail: kudasheva0.kudasheva@gmail.com

Лактоферрин представляет собой железосвязывающий гликопротеин семейства трансферринов, являющийся важным компонентом врождённого иммунитета и обладающий выраженной антимикробной, противовоспалительной и иммуномодулирующей активностью [1]. Благодаря способности к высокоаффинтному связыванию ионов Fe^{3+} лактоферрин ограничивает рост патогенных микроорганизмов и снижает уровень окислительного стресса, что делает его перспективным компонентом ранозаживляющих композиций.

Несмотря на наличие экспериментальных данных о биологической активности лактоферрина, остаётся недостаточно изученным вопрос молекулярных механизмов его взаимодействия с низкомолекулярными соединениями, способными усиливать или модулировать его функциональные свойства. Это ограничивает рациональный дизайн комбинированных ранозаживляющих систем с предсказуемым терапевтическим эффектом. Целью данной работы являлась in silico оценка взаимодействия лактоферрина с лигандами различной химической природы с сохранением его ключевой функции – железосвязывания.

В качестве белка-мишени использовалась кристаллографическая структура человеческого лактоферрина (PDB ID: 2BJJ). Для предотвращения нарушения биологической активности белка при моделировании были предварительно идентифицированы и исключены из анализа сайты связывания железа. Потенциальные лиганд-связывающие карманы, удалённые от функционально значимых центров, были определены с использованием онлайн-сервиса PrankWeb.

Для оценки характера взаимодействий применяли метод молекулярного докинга. В исследование были включены соединения различной природы, обладающие антимикробной и антиоксидантной активностью, включая полисахариды, сахароспирты, производные фуллеренов, а также низкомолекулярные структуры, сгенерированные с помощью глубокой генеративной модели PocketFlow. Докинг проводили с использованием

AutoDock Vina; анализ стабильности комплексов осуществляли по значениям энергии связывания и характеру межмолекулярных взаимодействий.

Результаты in silico анализа показали, что наибольшую аффинность к лактоферрину демонстрируют высокогидроксилированные фуллеренолы, формирующие стабильные комплексы в аллостерических карманах белка. Показано, что связывание лигандов в данных участках не перекрывает железосвязывающие центры лактоферрина, что указывает на сохранение его ключевой биологической функции.

Таким образом, проведённое вычислительное исследование подтверждает перспективность использования методов молекулярного моделирования для рационального подбора компонентов, усиливающих биологическую активность лактоферрина. Полученные данные могут быть использованы при разработке многофункциональных ранозаживляющих композиций и служат основой для последующих экспериментальных исследований.

Список литературы

1. *González-Chávez S.A., Arévalo-Gallegos S., Rascón-Cruz Q.* // Int. J. Antimicrobial Agents. 2009. Vol. 33. N 4. P. 301.e1. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2008.07.020
2. *Baker E.N., Baker H.M.* // Cellular and Molecular Life Sciences. 2005. Vol. 62. N 22. P. 2531. DOI: 10.1007/s00018-005-5368-9.

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ N-ЭТИЛПЕНТИЛОНА МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Кухарчик Н.М., Лишай А.В.

БГУ, Минск, Республика Беларусь

nadzea.kuharchik@gmail.com

В связи с активным ростом рынка психоактивных веществ возникла необходимость в быстром и доступном способе оценки физико-химических и токсикологических свойств таких новых веществ. Для этого успешно могут быть использованы различные методы компьютерного моделирования.

Нами были оценены токсикологические свойства N-этилпентилона – вещества, которое недавно появилось на рынке психоактивной продукции.

Для проведения исследования использовали следующие доступные online программы компьютерного моделирования: ADMETlab 3.0 [1], StopTox [2], ProTox 3.0 [3], GUSAR Online. Алгоритмы работы этих программ основаны на анализе методами машинного обучения зависимости структура-активность молекулы.

Результаты анализа физико-химических, фармакокинетических свойств и показателей токсичности N-этилпентилона приведены в таблицах 1-3.

По данным использованных программ наглядно видно, что получаемые результаты могут быть как взаимодополняющими, так и весьма противоречивыми. Таким образом, для объективной оценки и качественного анализа токсикологических свойств N-этилпентилона важно использовать комплексный подход и как можно большее количество программ компьютерного моделирования.

Таблица 1. Оценка свойств N-этилпентилона

Показатель	Программа моделирования	
	ADMETlab 3.0	ProTox 3.0
Отношение октанол-вода logP	2.552	2.77
Отношение октанол-вода при pH 7.4 (logD (pH 7.4))	2.204	нет данных
Гидрофильность logS	-2.47	
Показатель константы кислотности pKa	11.269 (acid), 8.598 (base)	
Клиренс Cl	5.067 мл/мин/кг	
Период полувыведения $T_{1/2}$	0.483 ч	
Связь с белками плазмы крови	64.0 %	
Объем распределения VD_{ss}	3.938 л/кг	
Температура плавления и кипения соответственно, °C	нет данных	106.708, 286.589

Таблица 2. Токсичность N-этилпентилона для крыс

Показатель	Программа моделирования	
	ProTox 3.0	GUSAR Online
Полулетальная доза для крыс LD_{50}, мг/кг	450	352,500 (внутрибрюшинно), 24,840 (внутривенно), 988,100 (перорально), 713,600 (подкожно)
Класс	4	4 – малотоксично, 3 – при внутривенном введении

Таблица 3. Особенности фармакокинетики и токсичность N-этилпентилона для человека

Параметр	StopTox	ProTox3.0	ADMETLab 3.0
Острая пероральная токсичность	+ (69.0 %)	+ (0,62)	нет данных
Острая ингаляционная токсичность	- (64.0 %)	нет данных	
Острая кожная токсичность	- (77.0 %)		
Раздражение глаз	- (59.0 %)		-
Сенситизация кожи	- (60 %)		-
Раздражение кожи	- (80 %)		нет данных
Гепатотоксичность	нет данных	- (0.86)	+ (0.835)
Нейротоксичность		- (0.58)	- (0.619)
Нефротоксичность		- (0.55)	- (0.605)
Респираторная токсичнось		+ (0.86)	+ (0.875)
Мутагенность		- (0.72)	-
Цитотоксичность		- (0.72)	-
Проницаемость через ГЭБ		+ (0.85)	+
CYP2D6		+ (0.75)	+ (0.9-1.0; ингибитор)
CYP2E1		- (0.98)	нет данных
BSEP ингибитор (BSEP - транспортер желчных солей из гепатоцита в жедчный проток)		нет данных	+ (0.9-1,0)
MRP1 ингибитор (белок множественной устойчивости		нет данных	+ (0.7-0.9)
Аминооксидаза А		+ (75.33 %)	нет данных
D3 рецептор к дофамину		+ (75.56 %)	нет данных

Список литературы

1. *Dong J., Wang N.-N., Yao Z.-J., Zhang L., Cheng Y., Ouyang D., Lu A.-P., Cao D.-S.* // J. Cheminform. 2018. Vol. 10. N 1. Art. № 29. DOI: 10.1186/s13321-018-0283-x
2. *Borba J.V.B., Alves V.M., Braga R.C., Korn D.R., Overdahl K., Silva A.C., Hall S.U.S., Overdahl E., Kleinstreuer N., Strickland J., Allen D., Andrade C.H., Muratov E.N., Tropsha A.* // Environmental Health Perspectives.2022. Vol. 130. N 2. Art. № 27012. DOI: 10.1289/EHP9341
3. *Banerjee P., Kemmler E., Dunkel M., Preissner R.* // Nucleic Acids Res. 2024 Vol. 52 (W1). P. W513-W520. DOI: 10.1093/nar/gkae303

СИНТЕЗ РЯДА ИМИДАЗОХИНОЛИНОВ НА ОСНОВЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ЦИКЛИЗАЦИИ *ОРТО*-АЛКИЛАМИНОПРОИЗВОДНЫХ НИТРОХИНОЛИНОВ

Ларин А.Н.*, *Демидов О.П.*, *Авакян Е.К.*, *Побединская Д.Ю.*, *Ермоленко А.А.*, *Ермоленко А.П.*, *Боровлев И.В.

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь

alexlarin1299@gmail.com

Ранее нами была синтезирована серия разнообразных алкиламинопроизводных нитрохинолина *с орто*-расположением аминогрупп посредством прямого окислительного S_N^H-алкиламинирования [1]. Полученные продукты из 5- и 6-нитрохинолинов легли в основу дальнейших исследований, направленных на разработку методов аннелирования имидазольного цикла к бензольному фрагменту хинолиновой системы.

При использовании подхода основанного на восстановительной циклизации субстратов из 5-, 6-нитрохинолинов с привлечением внешнего источника карбонильной функции были получены 3-алкил-3*H*-имидазо[4,5-*f*]хинолины и 1-алкил-1*H*-имидазо[4,5-*f*]хинолины (Схема 1).

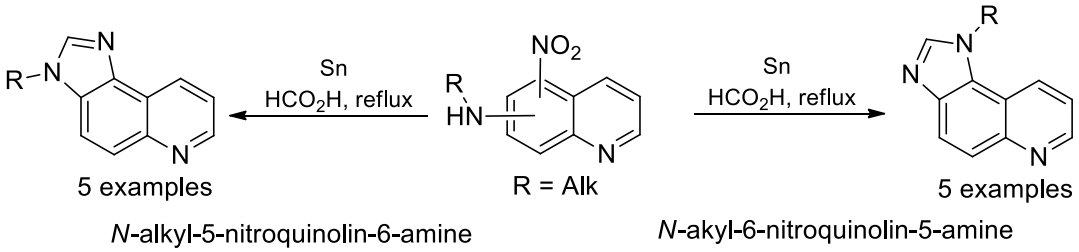


Схема 1

Таким образом нами была разработана эффективная методология синтеза имидазо[4,5-*f*]-хинолинов посредством восстановительной циклизации *орто*-нитроалкиламинохинолинов. Эти соединения представляют существенный интерес благодаря своей пуринообразной структуре и потенциальной применимости в противораковой, противовирусной и антимикробной терапии.

Список литературы

1. *Larin A.N., Borovleva A.A., Demidov O.P., Avakyan E.K., Zubenko A.A., Pobedinskaya D.Y., Ermolenko A.P., Kolosov S.E., Borovlev I.V.* // Asian J. Org. Chem. 2024. Vol. 14. N 2. P. e202400490. DOI: 10.1002/ajoc.202400490.

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ХИНОЛИНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРОВ ОНКОМИШЕНЕЙ КИНУРЕНИНОВОГО ПУТИ

***Леонова В.Б.*, Тихонов С.И., Грин М.А.**

РТУ МИРЭА, Москва

vermileona@gmail.com

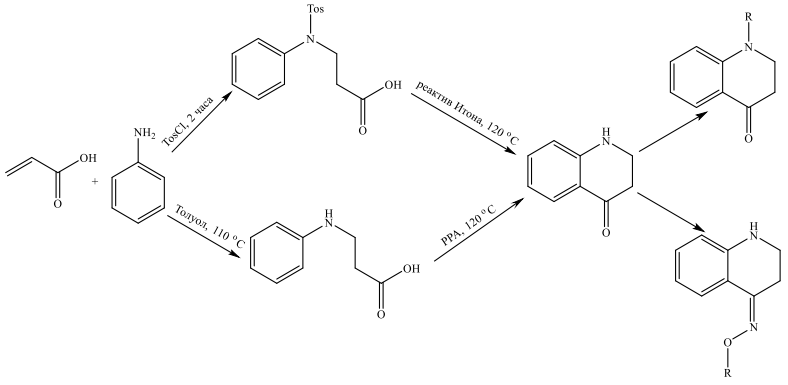
Кинурениновый путь, основная ветвь катаболизма триптофана в организме, инициируемый ферментами IDO и TDO, играет ключевую роль в подавлении противоопухолевого иммунитета. Синтез иммуносупрессивного метаболита кинуренина снижает эффективность терапии ингибиторами контрольных точек (анти-PD-1/PD-L1). В связи с этим, сам кинурениновый путь и его ключевые ферменты являются перспективными терапевтическими мишенями для повышения эффективности иммуноонкологических препаратов [1].

Молекулярный докинг производных триптофана, индола и хинолина позволил выявить структуру 2,3-дигидроксихинолин-4-она в качестве оптимальной основы для ингибирования IDO1 и TDO, за счет дополнительной стабилизации структуры в активном центре благодаря π-π-стекингу и π-сульфур взаимодействию с остатком Cys129.

Проведённый QSAR-анализ позволил выявить зависимость, что наиболее важными фармакофорными элементами, ассоциированными с высокой активностью, являются амидный фрагмент и ароматическая система бензольного кольца. Это определяет направление для дальнейшей оптимизации структуры ингибиторов.

Была проведена оптимизация синтеза 2,3-дигидроксихинолин-4-она. Для селективного получения была опробована защита азота тозильной группой, поскольку циклизация N-фенил-β-аланина реактивом Итона приводила к смеси изомеров. Однако тозилирование осложнило выделение продукта. В оптимизированном методе от защиты отказались, циклизацию проводили полифосфорной кислотой, а ключевой предшественник очищали колоночной хроматографией.

В дальнейшем планируется получение новых производных, содержащих предварительно отобранных фармакологических групп, на основе 2,3-дигидроксихинолин-4-она, включая N-замещенные аналоги и O-замещенные оксимы.



Список литературы

1. Fujiwara Y., Kato S., Nesline M.K., Conroy J.M., DePietro P., Pabla S., Kurzrock R. // Cancer Treat Rev. 2022. Vol. 110. Art. № 102461. DOI: 10.1016/j.ctrv.2022.102461

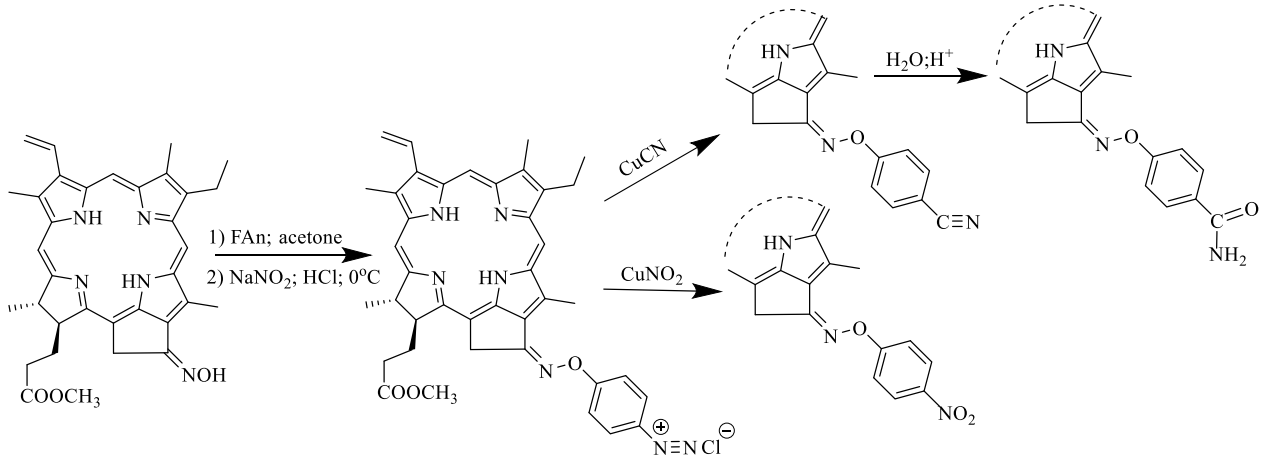
СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗОКСИМОВ ПРИРОДНЫХ ХЛОРИНОВ

Лифаренко А.С.*, *Тихонов С.И.

РТУ МИРЭА, 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78

lifarenkoaleksandr3@gmail.com

Разработка новых противоопухолевых агентов остаётся актуальной задачей современной фармакологии. Особый интерес представляют различные модификации хлориновой структуры, связанные с улучшением спектральных характеристик, позволяющие создать более перспективные и эффективные ФДТ-агенты. Направленное введение в структуру бензолсодержащих оксимов может способствовать увеличению биологической активности и улучшению спектральных характеристик из-за наличия в оксимах кратных связей, позволяющих расширять π-систему тетрапиррольной структуры.



В данной работе была разработана стратегия синтеза бензоксимов природных хлоринов по реакции Зандмейера через образования соли диазония, полученной последовательным прибавлением к 4-фторанилину (FAn) раствора нитрита натрия в соляной кислоте, и последующей модификации образующийся соли. Далее была проанализирована стабильность полученных соединений и влияние функциональных групп на спектральные характеристики.

Структура полученных соединений подтверждена комплексом физико-химических методов анализа: масс-спектрометрией, ^{1}H ЯМР-спектроскопией, и УФ-видимой спектрофотометрией**.**

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП РТУ МИРЭА при поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения №075-15-2025-548 от 18.06.2025 г

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ 2-(4-АМИНОФЕНИЛ)ИМИДАЗОЛА

***Маланьин А.А.*, Никитина П.А., Басанова Е.И.**

РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

a.malanin@inbox.ru

Конденсацией пентан-2,4-дион-3-оксима **1** с 4-бромбензальдегидом **2** и ацетатом аммония синтезировано производное 2-(4-бромфенил)-1-гидроксиимидазола **3**, которое далее было прометилировано йодметаном в присутствии гидроксида калия в диметилформамиде с образованием 2-(4-бромфенил)-1-метоксиимидазола **4** (схема 1). Также 2-(4-бромфенил)-1-гидроксиимидазол **3** был восстановлен трифенилфосфином в кипящей ледяной уксусной кислоте в *1H*-имидазол **5**, метилирование которого привело к 2-(4-бромфенил)-3-метилимидазолу **6** (схема 1).

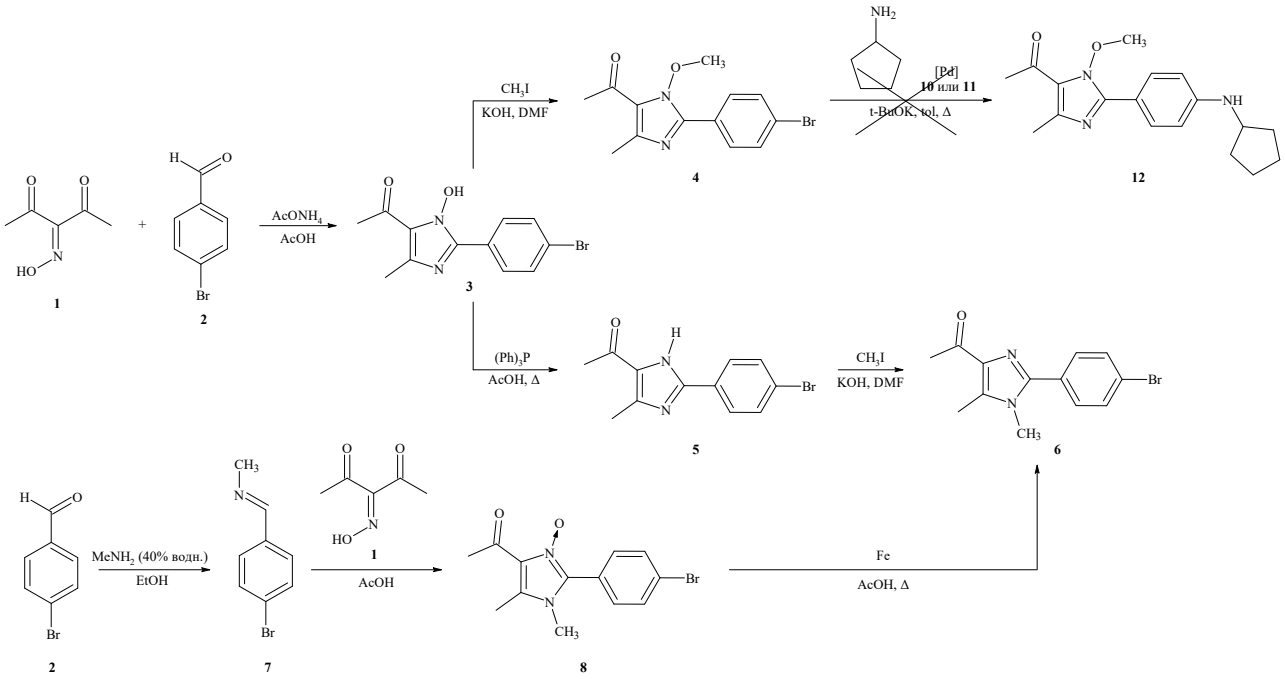


Схема 1. Синтез производных 2-арилимидазола.

1-Гидроксиимидазолы могут существовать в виде двух таутомерных форм *N*-гидроксиимидазола и *N*-оксида имидазола (схема 2).

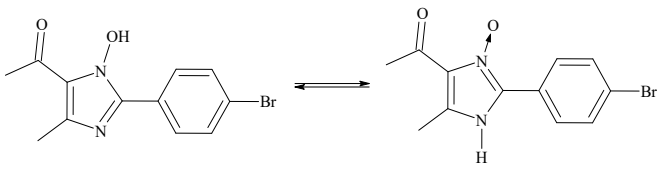


Схема 2. Прототропная таутомерия 1-гидроксиимидазола.

Для определения преобладающей таутомерной формы 1-гидроксиимидазола в растворе сравнивали спектры ^{1}H ЯМР исследуемого соединения и со спектрами модельных структур. В качестве модельной формы *N*-оксида был получен 3-оксид имидазола **8** (схема 1). По данным ^{1}H ЯМР

спектроскопии 1-гидроксиимидазол **3** в дейтерированном хлороформе преимущественно существует в форме *N*-гидрокситаутомера.

В качестве подтверждения метилирования *1H*-имидазола **5** по атому N-3, было проведено восстановление 3-оксида имидазола **8** с получением 3-метилмидазола **6** (схема 1).

Для проведения реакции C-N кросс-сочетания по Бахвальду-Хартвигу были синтезированы мономерный Pd/NHC катализатор **10** из соли имидазолия **9** в присутствии K_2CO_3 и пиридина в дихлорметане, а также его димер **11** в диоксане в присутствии HCl (схема 3) [1].

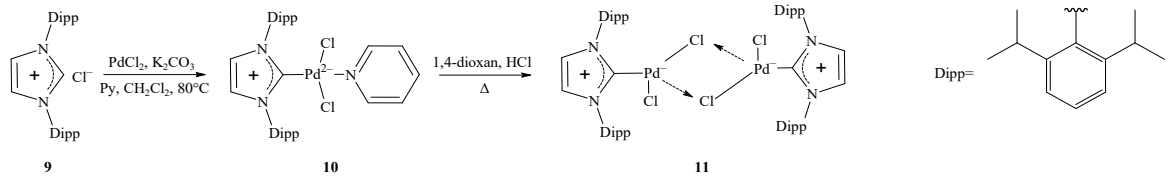


Схема 3. Синтез катализаторов **10** и **11**.

Реакция C–N кросс-сочетания 1-метоксиимидазола **4** с циклопентиламином в кипящем толуоле в присутствии катализатора NHC-Pd **10** и трет-бутоксида калия не привела к образованию целевого продукта **12** (схема 1). HRMS-Анализ реакционной смеси выявил лишь следовые количества производного **12**, в то время как основным компонентом оставался исходный субстрат **4**. Аналогичный результат наблюдался при использовании димера **11** (схема 1).

В связи с этим для дальнейшего синтеза был применен альтернативный подход, в котором исходный альдегид **2** вступал в реакцию кросс-сочетания с получением 4-*N*-циклопентиламинобензальдегида **13**, затем, в условиях конденсации с оксимом **1** и ацетатом аммония в кипящей уксусной кислоте, превращен в 2-(4-аминофенил)-1-гидроксиимидазол **14** (схема 4).

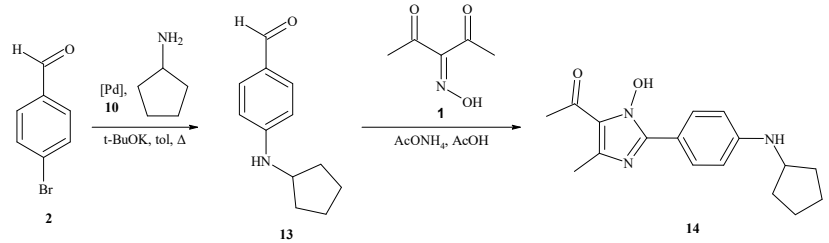


Схема 4. Синтез производного 2-(4-аминофенил)-1-гидроксиимидазола **14**.

Структуры синтезированных соединений подтверждены спектроскопией ^{1}H ЯМР и ^{13}C ЯМР, а также гетероядерными экспериментами HMQC и HMBC.

Список литературы

1. *Prima D.O., Madiyeva M., Burykina J.V., Minyaev M.E., Boiko D.A., Ananikov V.P.* //Catal. Sci. Technol**.** 2021. Vol. 11. P. 7171-7188. DOI: 10.1039/d1cy01601f

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-23-00507, https://rscf.ru/project/25-23-00507/

КОНВЕРСИЯ МЕТАНОЛА В ОЛЕФИНОВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ C_2-C_4 НА La-МОДИФИЦИРОВАННОМ ДЕАЛЮМИНИРОВАННОМ ЦЕОЛИТЕ HZSM-5

Мамедов[1] Э.С., Бабаева[2] Т.А., Мамедов[3] С.Э., Мирзалиева[3] С.Э., Бабаев[2] Э.М.

[1]Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Баку, Азербайджан, [2]Бакинский Инженерный Университет, Хырдалан, Азербайджан, [3]Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан
azeri09@mail.ru

Основные соединения, используемые в нефтехимической промышленности, например, олефины C_2-C_4 и ароматические углеводороды C_6-C_8, в настоящее время получают пиролизом, термическим и каталитическим превращением углеводородного сырья. Однако нефтяные ресурсы ограничены кроме того, при переработке и сжигании нефти происходит загрязнение окружающей среды. Поэтому большое внимание, уделяется метанолу как замене нефти, поскольку метанол очень доступное сырье, имеет низкую стоимость и потенциально является перспективной молекулой платформой для производства низших олефинов C_2-C_4 и различных ценных химических веществ [1].

Достижение высокой селективности по низшим олефинам можно реализовать путем модифицирования цеолита ZSM-5 переходными металлами, бором, фосфором, а также деалюминированием [2].

Целью настоящей работы явилось изучение влияния деалюминирования и модифицирования цеолита HZSM-5 лантаном на его каталитические свойства в конверсии метанола в олефиновые углеводороды C_2-C_4.

Для приготовления катализаторов использовали цеолит ZSM-5 с силикатным модулем 40 (содержание Na_2O < 0.05 мас.%). Деалюминирование цеолита проводили с использованием 2.0 М раствора HCl при 90°C в течение 30 мин. После деалюминирования мольное соотношение SiO_2/Al_2O_3 в цеолите составляло 80. Модифицирование цеолитов проводили водным раствором нитрата лантана с последующей сушкой (110°C, 4ч) и прокалкой (550°C, 4ч). Опыты проводили в проточной установке с кварцевым реактором с загрузкой 2 г катализатора в интервале температур 250-550°C, объемной скорости 2.0 $ч^{-1}$ в присутствии азота.

Методом РФА установлено, что после деалюминирования и модифицикации не наблюдаются дифракционные пики характерные для аморфной фазы (Al_2O_3) и оксида лантана. На HZSM-5 при 300 °C конверсия метанола достигает до 99,2%, тогда как на деалюминированном (HZSM-5) и модифицированных (1.0-4.0%La-HZSM-5) высокая конверсия метанола (97.5-99.8%) наблюдается при более высоких температурах (350-400°C). Наиболее высокая селективность по этилену (25,8%) достигается при 550°C на HZSM-5. В результате деалюминирования селективность по этилену снижается до 10.8%. Однако HZSM-5 проявляет очень низкую селективность по пропилену. В интервале температур 350-550°C селективность по пропилену составляет 5.1-16.2%. После деалюминирования селективность по пропилену возрастает до 22.2%. Наиболее высокая селективность по пропилену (48,4%) и олефинам C_2-C_4 (77.6%) наблюдается на катализаторе модифицированном 4 мас.% лантаном.

Список литературы

1. *Li Y., Fu S., Zhang Q., Liu H., Wang Y.* // Catalysts. 2022. Vol. 12. N 11 Art. № 1371. DOI: 10.3390/catal12111371
2. *Shao J., Fu T., Ma Q., Ma Z., Zhang C., Li Z.* // Micropor. Mesopor. Mater. 2019. Vol. 273. P. 122. DOI: 10.1016/j.micromeso.2018.07.007

КОНВЕРСИЯ БИОЭТАНОЛА В УГЛЕВОДОРОДЫ В ПРИСУТСТВИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО Ni–La/HZSM-5 КАТАЛИЗАТОРА

Керимли Ф.Ш., Маммадова Х.М., Мамедов С.Э.

БГУ, Баку, Азербайджан

memmedovaxanimbaci549@gmail.com

Для удовлетворения растущих потребностей человечества в нефтехимической промышленности должны быть использованы возобновляемые и альтернативные источники топлива. Для промышленного производства экологически чистого моторного топлива очень важно заменить углеводородное сырьё на биоэтанол. Биоэтанол, получаемый из биомассы , является возобновляемым сырьём и рассматривается как один из заменителей нефти, для получения низших олефинов C_2–C_4, ароматических углеводородов и высокооктановых компонентов моторных топлив [1].

Селективность образования вышеуказанных продуктов зависит от природы цеолита, природы и концентрации модификаторов, способа приготовления катализатора и условий проведения реакции [2].

Благодаря уникальному строению, имеющему трёхмерную структуру с прямыми (0.53 × 0.55 нм), и синусоидальными (0.51 × 0.53 нм) каналами цеолита типа ZSM-5, являются очень перспективными катализатороми для производства алифатических и ароматических углеводородов с числом атомов углерода не более C_{12} [3,4].

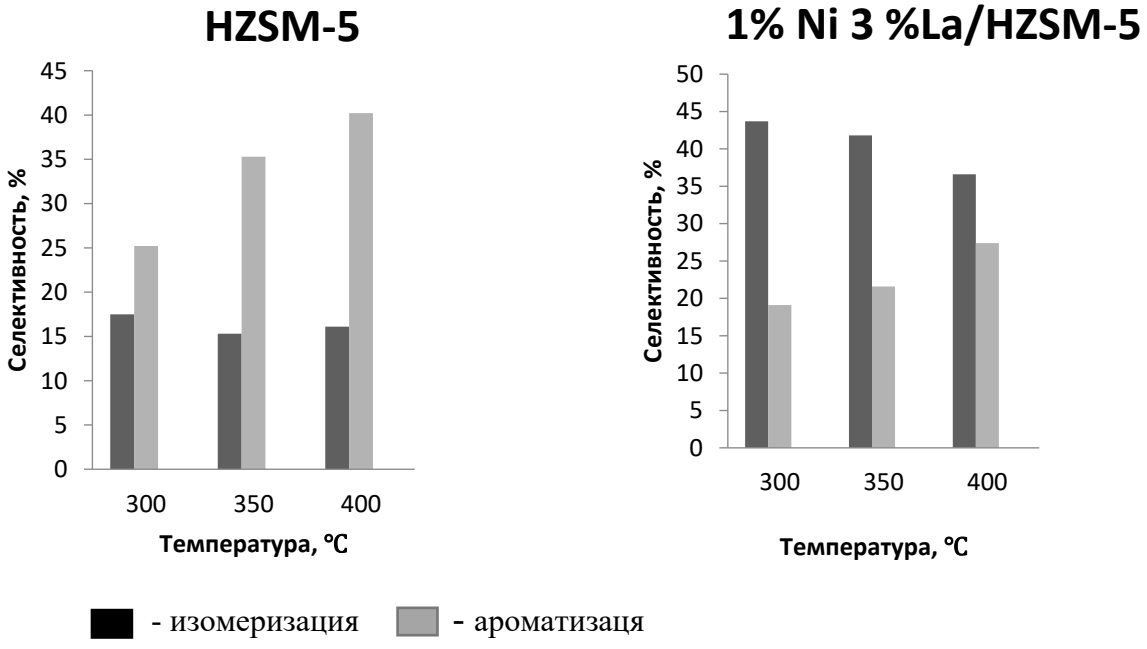


График 1. Зависимость селективности по продуктам изомеризации и ароматизации от температуры

В данной работе с целью улучшения селективности по изопарафиновьм углеводородам C_5-C_{12} и повышения стабильности работы катализатора было проведено двухкомпонентное (Ni, La) модифицирование цеолита HZSM-5 и исследованы их физико-химические и каталитические свойства в конверсии биоэтанола в углеводороды.

В качестве исходного использовали коммерческий цеолит HZSM-5 с молярным отношением SiO_2/Al_2O_3, равным 40 (содержание $Na_2O < 0.05$ мас.%), производства ЗАО «Нижегородские сорбенты», Россия.

Модифицирование цеолита проводили последовательной пропиткой растворами нитрата лантана и ацетата никеля при 80 °C в течение 4 ч. После сушки (110 °C) и прокалки (550 °C, 5 ч) катализатор загружали в реактор (2,0 г), активировали в потоке воздуха (550 °C, 4 ч) и восстанавливали в токе водорода (380 °C, 2 ч).Опыты проводили в проточной установке в интервале температур 300–480 °C с объёмной скоростью подачи этанола 2,0 $ч^{-1}$ при атмосферном давлении в потоке водорода.

Выявлено, что немодифицированный и модифицированные образцы La/HZSM-5 и Ni/La-HZSM-5 имеют дифракционные пики (2θ = 7,8°; 8,8°; 22,5°; 23,5°; 24,0°), соответствующие молекулярным ситам ZSM-5. Кроме того, не обнаружено явных дифракционных пиков, соответствующих фазам оксида лантана и никеля. Полученные результаты показывают возможность высокодисперсного распределения модификаторов как на внешней поверхности, так и в порах цеолита.

HZSM-5 проявляет низкую изомеризующую активность.В присутствии HZSM-5 образующиеся интермедиаты из этанола подвергаются в основном крекингу и ароматизации, что очевидно, связано присутствием сильных кислотных центров в цеолите.

Установлено, что в результате двухкомпонентного модифицирования за счёт снижения плотности сильных кислотных центров, образования новых льюисовских кислотных и металлических центров происходит значительное увеличение изомеризующей селективности (с 11,1–17,5% до 30,6–43,7%) и уменьшение ароматизирующей селективности (с 25,2-40,2% до 19,1-27,4%). Двухкомпонентное модифицирование позволяет также повысить стабильность работы катализатора до 40 часов.

Список литературы

1. *Xiang H., Xin R., Prasongthum N., Natewong P., Sooknoi T., Wang J., Reubroycharoen P., Fan X.* // Res.Chem. Mat. 2022. Vol. 1. N 1. P. 47. DOI: 10.1016/j.recm.2021.12.002
2. *Phung T.K., Radikapratama R., Garbarino G., Lagazzo A., Riani P., Busca G.* // Fuel Process. Technol. 2015. Vol. 137. P. 290. DOI: 10.1016/j.fuproc.2015.03.012
3. *Moon S., Chae H.J. Park M.B.* // Catalysts. 2019. Vol. 9. N 2. Art. № 186. DOI: 10.3390/catal9020186
4. *Cordero-Lanzac T., Aguayo A.T., Gayubo A.G., Bilbao J.* // Fuel. 2021. Vol. 302. Art. № 121061. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.121061

СИНТЕЗ ПЕПТИДОМИМЕТИКОВ В КАЧЕСТВЕ ЛИГАНДОВ ДЛЯ БЕЛКОВ ИНГИБИТОРОВ АПОПТОЗА (IAP)

Мамонова Е.А.*, *Сачкова А.А.*, *Щегравина Е.С.*, *Федоров А.Ю.
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
603022, Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23.
e-mail: glue7115@yandex.ru

Онкологические заболевания являются на сегодняшний день одними из наиболее распространенных и трудно поддающихся лечению и представляют собой угрозу для жизни миллионов людей по всему миру. Для их терапии применяются различные ингибиторы, но данный подход имеет свои недостатки, такие как токсичность ввиду высокой дозы, а также возникновение устойчивости к данному препарату. Существует метод, позволяющий избежать данных проблем – это технология таргетного расщепления белков-мишеней SNIPER (Specific and Non genetic IAP-dependent Protein Erasers). Она направлена на деградацию специфических мишеней таких, как белки, рецепторы факторов роста, различные киназы, молекулы, связанные с ангиогенезом и апоптозом. В основе технологии SNIPER лежит применение специальных молекул, способных полностью разрушить патогенный белок. SNIPER представляют собой бифункциональные молекулы, содержащие два лиганда, один из которых взаимодействует с белком-мишенью, а другой – с белком Е3-лигазой. Молекула SNIPER также инициирует клеточный апоптоз и блокирует сразу все функции патогенного белка, а не только его активный центр (Рис.1).

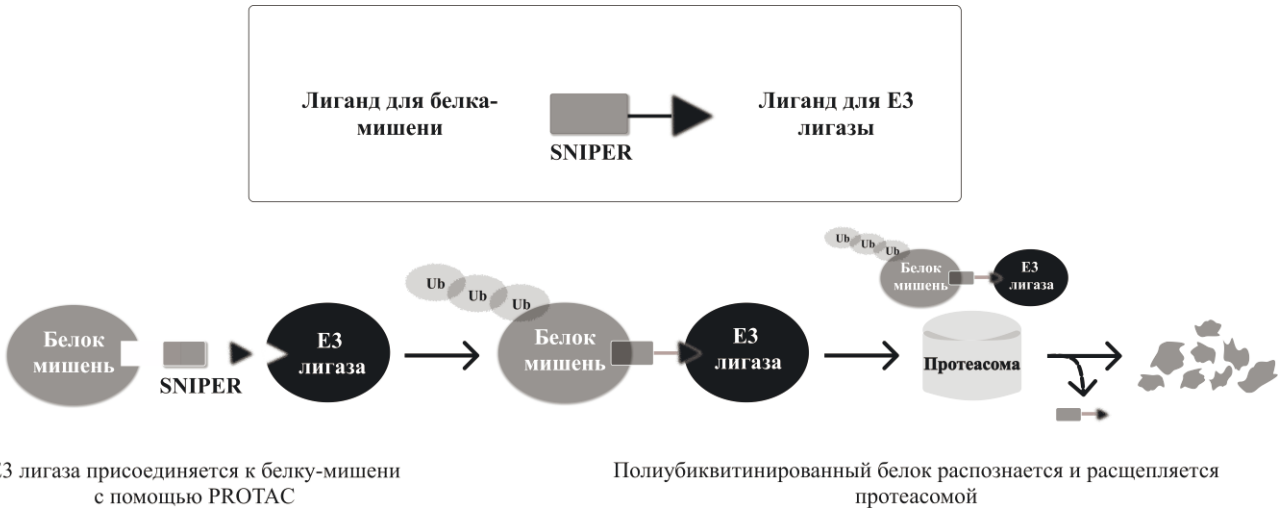


Рисунок 1. Убиквитин-протеасомальное расщепление белка под действием SNIPER.

В качестве лиганда к Е3-лигазе нами были предложены соединения, близкие по структуре к литературному лиганду LCL-161 (Рис.2), имеющему доказанную способность связываться с BIR3 доменом в составе белка XIAP[1].

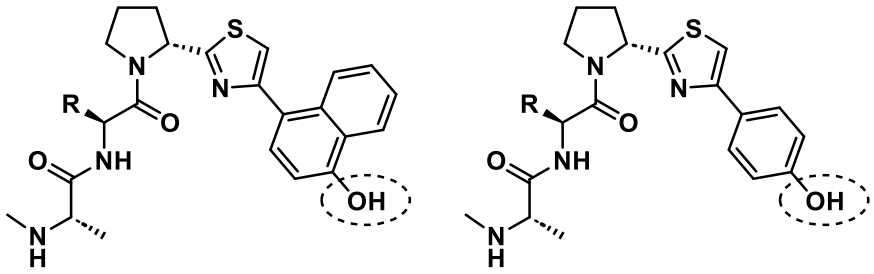


Рисунок 2. Структуры IAP-лигандов.

Список литературы

1. *Wang C., Zhang Y., Shi L., Yang S., Chang J., Zhong Y., Li Q., Xing D.* // J. Enzyme Inhib. Med. Chem. 2022. Vol. 37. N 1. P. 1437. DOI: 10.1080/14756366.2022.2074414

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 25-13-20064.

ФОСФИН-КАТАЛИЗИРУЕМОЕ ПРИСОЕДИНЕНИЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ К ЭЛЕКТРОНОДЕФИЦИТНЫМ АЛКИНАМ

***Мамонтов М.А.*, Ильин А.В.**
Химический институт им. А.М. Бутлерова КФУ, Казань
E-mail: mamontovmihail01@mail.ru

Работа посвящена высокоэффективному α- и вицинальному бисприсоединению циклических имидов и производных гидантоина к метилпропиолату с высокими выходами в условиях катализа третичными фосфинами с высокой атомной экономией и селективностью (Схема 1). В случае фосфин-катализируемого β-присоединения данных имидов и гидантоинов к α-имидо- и α-гидантоиноакрилатам образуются соответствующие аддукты аза-Михаэля, содержащие два различных фрагмента в молекуле [1].

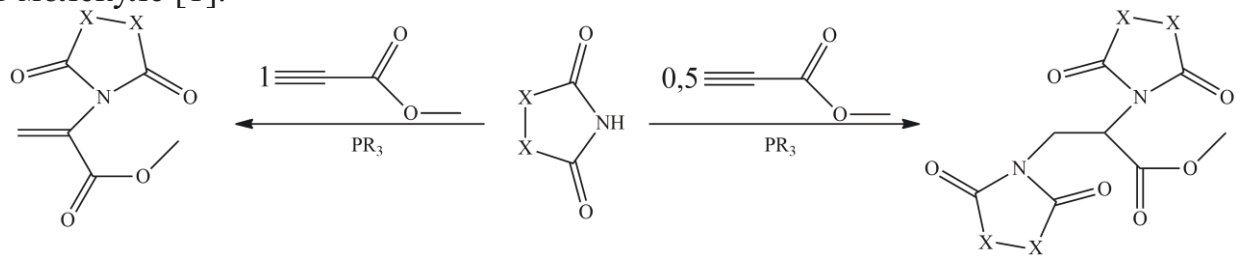


Схема 1.

Также были получены *цис*-α-имидо и α-гидантоиноцинаматы в результате фосфин-катализируемого α-инверсного присоединения циклических имидов и гидантоинов к этиловому эфиру 3-фенилпропиоловой кислоты с высокой регио- и стереоселективностью. Стереоселективность присоединения подтверждена результатами квантово-химических расчетов [2] (Схема 2).

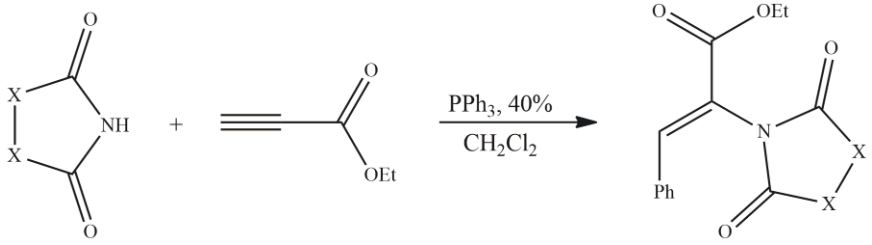


Схема 2.

Список литературы

1. *Il'in A.V., Mamontov M.A., Kozlova V.N., Anisimova KS., Shulaeva M.P., Pozdeev O.K., Islamov D.R.* // Russ. J. Gen. Chem. 2024. Vol. 94. N 12. P. 3164. DOI: 10.1134/S1070363224120053
2. *Il'in A.V., Mamontov M.A., Serov N.Yu., Kozlova V.N., Babaeva O.B., Islamov D.R.* // ChemistrySelect. 2024. Vol. 10. N 38. Art. № e03839. DOI: 10.1002/slct.202503839

СИНТЕЗ ОЛИГОМЕРНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛТЫХ ГИДРАЗОННЫХ АЗОКРАСИТЕЛЕЙ

Масленченко А.Ю.*, *Меткалова А.Д.*, *Мирошников В.С.

РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

leha.maslenchenko@mail.ru

Азо-гидразонная таутомерия свойственна практически всем азокрасителям. Этот процесс значительно влияет на физико-химические свойства азосоединений и заключается в образовании двух таутомерных форм **1**, **2** (Схема 1) [1].

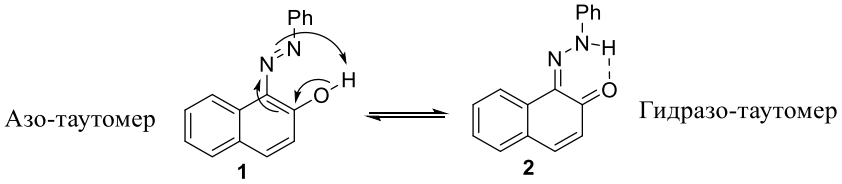


Схема 1. Азо-гидразонная таутомерия азокрасителя.

Пиразолоновые азокрасители **5**, **6** потенциально являются таутомерными соединениями. Установленно, что истинной структурой продукта сочетания **3** и **4** является гидразонная форма соединение **5** (Схема 2) [2].

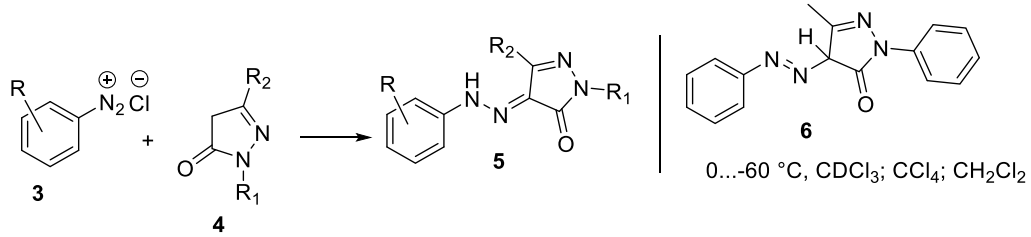


Схема 2. Азо-гидразонная таутомерия пиразолонового азокрасителя.

Гидразонный таутомер так же является стабильным продуктом соединения ароматического диазония **8** с метиленовой группой кетонов, β-дикетонов, а также кетоэфиров. Это предположение доказано спектрами ИК и ЯМР [2]. На основе ацетацетанилида и антраниловой кислоты был получен гидразонный желтый краситель **9** (Схема 3):

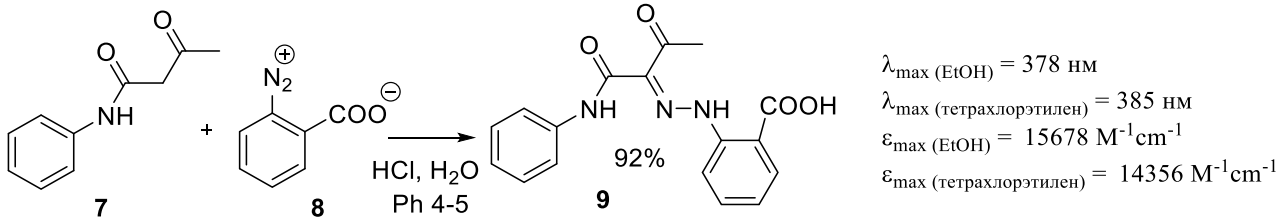


Схема 3. Образование гидразонного таутомера азосочетанием с ацетоуксусным эфиром.

Азокрасители ряда производных пиразолона **12**, **16** и 1,3-дикарбонильных соединений **9** хоть и существуют исключительно в гидразонной форме, но характеризуются значительными показателями светостойкости 6-7 баллов.

Поэтому карбоксил-содержащие красители **9, 13**, **17** были выбраны в качестве хромофорных систем для получения желтых олигомерных красителей (Схема 5).

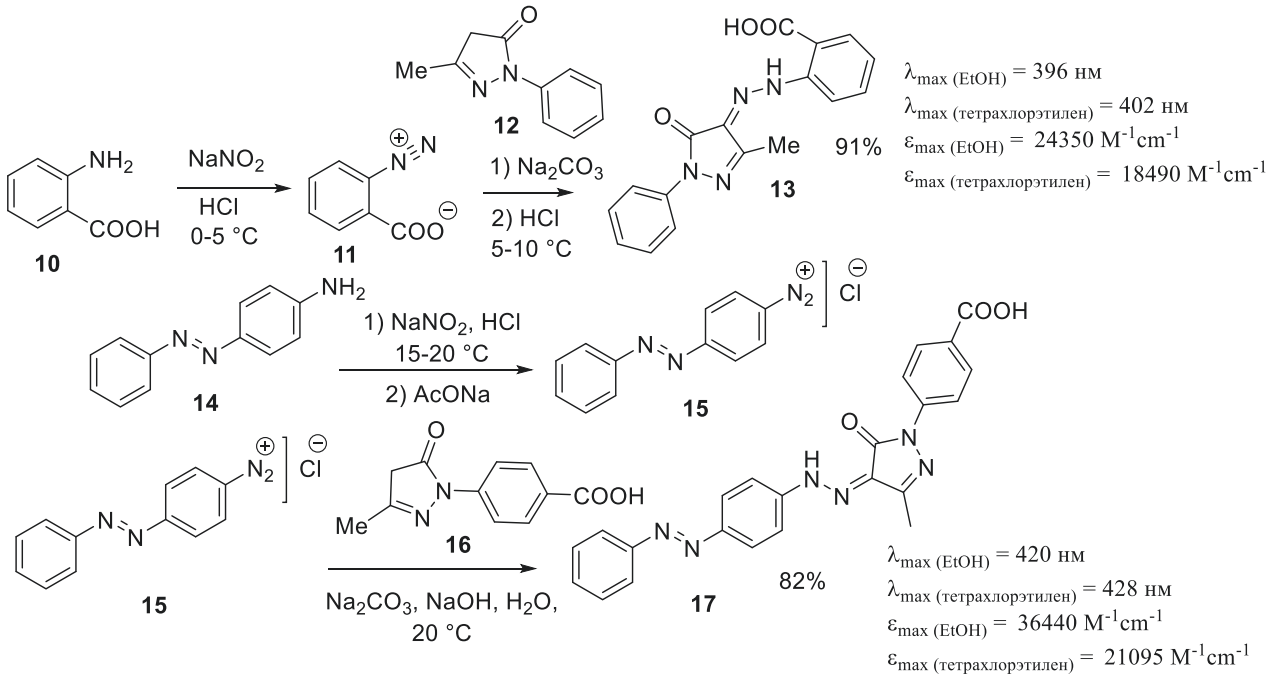


Схема 4. Синтез желтых красителей на основе производных пиразолона.

На основе пиразолона **12** и **16**, в качестве азосоставляющей, и 4-аминоазобензола и антраниловой кислоты, в качестве диазосоставляющих, были получены желтые моно- и бисазокрасители **13**, **17** (Схема 4), характеризующиеся значительными значениями молярного коэффициента экстинкции и узкой полосой электронного спектра поглощения.

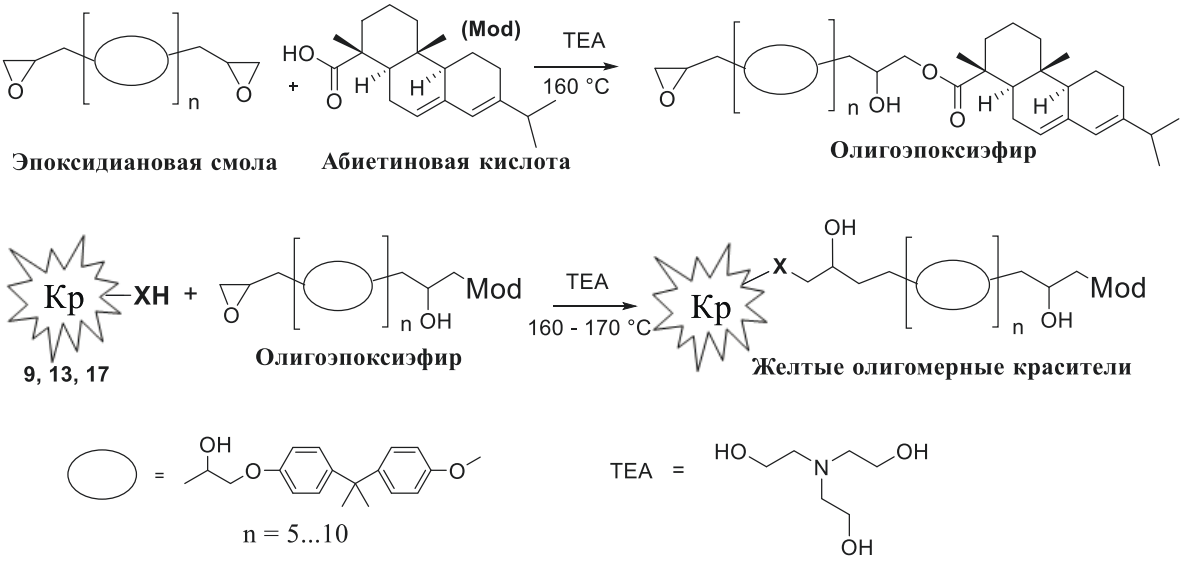


Схема 5. Синтез желтых олигомерных красителей на основе красителей 9, 13, 17.

Список литературы

1. *Omar A.Z., Khamis A.M., Hamed E.A., El-Sadany S.K., Abdel Rehim E.M., Elba M.E., Mohamed M.G., El-Atawy M.A.* // Sci. Rep. 2023. Vol. 13 Art. № 21554. DOI: 10.1038/s41598-023-48368-y
2. *Ball P., Nicholls C.H.* // Dyes and Pigments. 1982. Vol. 3. N 1. P. 5. DOI: 10.1016/0143-7208(82)80010-7

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ СОЛНЦЕЗАЩИТНЫХ ФИЛЬТРОВ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ МОЛЕКУЛ

Матвиенко Э.Р., Погребняк А.В., Ерохина Б.Н., Жилин Н.Г.

НМИ, Невинномыск

nayka_mni@mail.ru

Воздействие солнечного ультрафиолетового излучения является наиболее важным предотвратимым фактором риска, приводящим к раку кожи, и 80–90% случаев рака кожи связаны с воздействием ультрафиолета, однако менее 40% жителей Российской Федерации используют адекватную защиту от ультрафиолета. Существует множество эффективных стратегий фотозащиты, в том числе избегание пребывания на солнце или ношение защитной одежды. В последние годы осведомлённость общественности о безопасности пребывания на солнце и вредном воздействии солнечных лучей постоянно растёт, что приводит к более частому использованию УФ-фильтров. Прогнозируется, что мировой рынок солнцезащитных средств вырастет с 11,6 млрд долларов США в 2018 году до 24.4 млрд долларов США к 2029 году. Первые УФ-фильтры были разработаны в 1928 году, а их эффективность и безопасность были доказаны к 1956 году. Для стандартизации измерения эффективности солнцезащитных средств в 1974 году был разработан фактор защиты от солнца (SPF). SPF показывает долю от общего количества ультрафиолетового излучения, попавшего на кожу. Например, «SPF 25» означает, что лишь 1/25 от всего количества падающего излучения достигает кожи через рекомендуемую толщину солнцезащитного крема. Большинство органических УФ-фильтров представляют собой органические соединения, содержащие одно или несколько ароматических колец. В основном состоянии их сопряжённые (делокализованные) электроны находятся на минимально возможных энергетических уровнях. После поглощения определённого количества энергии электроны могут переходить в возбуждённое состояние, что приводит к временной поляризации молекулы. Затем возбуждённая молекула самопроизвольно возвращается в основное состояние, испуская тепло или длинноволновое излучение. Расчеты геометрического и электронного строения молекул, статистические расчеты, оформление таблиц проводились с использованием: пакета квантово-химических программ «MOPAC2016»; среды для молекулярного моделирования «Hyperchem 8.09; «Statistica Basic 10 for Windows. Алгоритм полуэмпирического квантово-химического расчета – PM7[1]. Изучено геометрическое и электронное строение более 100 молекул. Все перечисленные молекулы рассчитывались в двух формах: свободном состоянии (в вакууме) и в гидратированном состоянии (в воде). Гидратная оболочка рассчитывалась методом COSMO [2] в составе пакета MOPAC2016.

Таким образом изучение геометрического и электронного строения 20 молекул УФ-фильтров позволило выявить численные дескрипторы, связанные с реализацией защитного действия. Найденные закономерности позволят проводить эффективный поиск in silico молекул с фотозащитными свойствами среди новых природных и синтетических структур.

Список литературы

1. *Stewart J.J.P.* // J. Molec. Modeling. 2013. Vol. 19. N 1. P. 1. DOI: 10.1007/s00894-012-1667.
2. *Klamt A. Schüürmann G.* // J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2. 1993. N 5. 799. DOI: 10.1039/P29930000799

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ КОНЪЮГАТОВ ПОЛИЭДРИЧЕСКИХ ГИДРИДОВ БОРА С BODIPY ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БОР-НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ (БНЗТ) РАКА

Мезенцев И.А. [1,2], ***Друзина А.А.*** [1], ***Сиваев И.Б.*** [1], ***Брегадзе В.И.*** [1]

[1]*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова, Москва*
[2]*Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва*
mezentsevilka@yandex.ru

БНЗТ - прогрессивный метод, основанный на селективном накоплении изотопов ^{10}B в опухоли с последующим облучением тепловыми нейтронами для локального разрушения раковых клеток [1]. Ключевой проблемой остаётся таргетная доставка борсодержащих агентов. Для визуализации распределения *in vivo* применяется флуоресцентная визуализация с использованием мембранотропных флуорофоров, таких как BODIPY [2]. Поэтому актуальной задачей является создание гибридных молекул, объединяющих полиэдрический борный каркас для терапии и флуоресцентную метку для детекции.

В работе рассмотрены конъюгаты полиэдрических гидридов бора и BODIPY с различным строением спейсера, полученные по Cu(I)-катализируемой реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения алкинов к азидам и нуклеофильным раскрытием циклических оксониевых производных борных кластеров OH-группой BODIPY (Схема 1), изучены их биологические свойства.

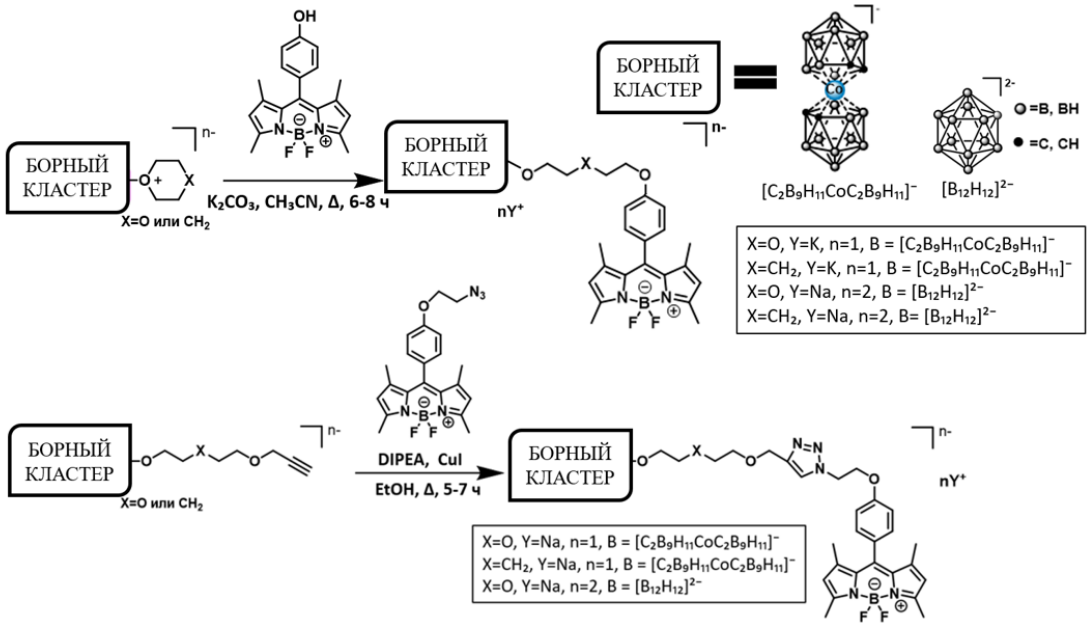


Схема 1. Синтез конъюгатов полиэдрических гидридов бора с BODIPY.

Список литературы

1. *Jin W.H., Seldon C., Butkus M., Sauerwein W., Giap H.B.* // Int. J. Part Ther. 2022. Vol. 9. N 1. P. 71. DOI: 10.14338/IJPT-22-00002.1
2. *Rong B., Dong X., Zhao W.* // Eur. J. Med. Chem. 2025. Vol. 282. Art. № 117056. DOI: 10.1016/j.ejmech.2024.117056

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (Проект № 24-73-10090).

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФУРАНСОДЕРЖАЩИХ *ГЕМ*-БРОМНИТРОЭТЕНОВ С СН-КИСЛОТАМИ

***Минаева В.Ю.*, Озерова О.Ю., Макаренко С.В.**

РГПУ им. А. И. Герцена

kohrgpu@yandex.ru

Наиболее изученными гетерилсодержащими *гем*-бромнитроэтенами являются представители фуранового ряда [1]. Высокоэлектрофильный *гем*-бромнитроэтеновый фрагмент их молекул обуславливает повышенную активность этих соединений в реакциях с нуклеофилами [1].

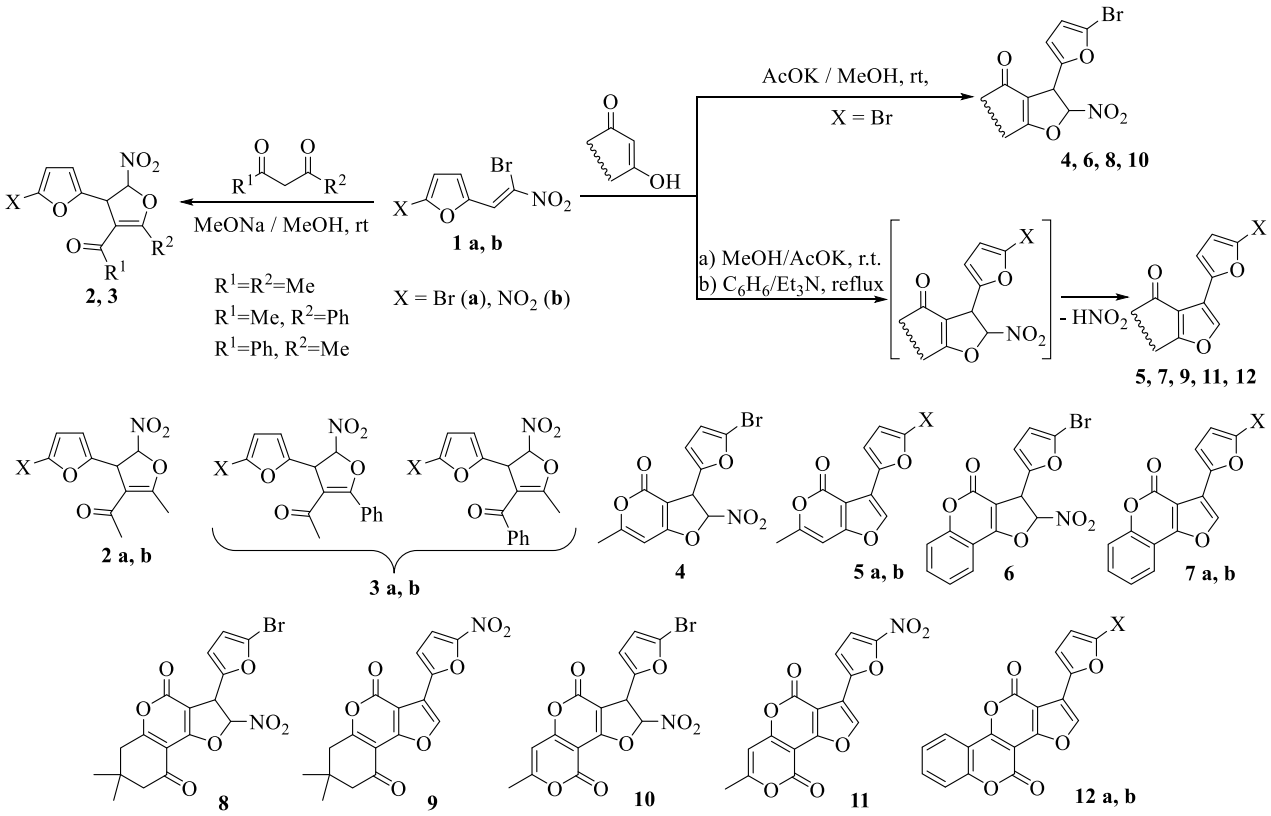
Известно, что на основе реакции фурансодержащих *гем*-бромнитроэтенов с димедоном и дигидрорезорцином получены интересные частично гидрированные фурилбензофураны [2].

Нами изучены реакции представителей фурансодержащих *гем*-бромнитроэтенов – 1-бром-1-нитро-2-(5-бром(нитро)фурил-2)этенов **1a, b** с представителями линейных (ацетилацетон, бензоилацетон) и циклических (4-гидрокси-6-метилпиран-2-он, 4-гидроксихромен-2-он, 4-гидрокси-7,7-диметил-7,8-дигидрохромен-2,5-дион, 4-гидрокси-7-метилпиранопиран-2,5-дион и 4-гидроксипиранохромен-2,5-дион) СН-кислот.

Оказалось, что в случае реакций с линейными СН-кислотами, наиболее предпочтительным основанием является эквимольное количество метилата натрия, а при переходе к циклическим СН-кислотам – избыток плавленого ацетата калия. Кроме того, природа заместителя в фурановом кольце *гем*-бромнитроэтена оказывает влияние на скорость и глубину протекания процесса при участии циклических СН-кислот. Так, реакции 1-бром-1-нитро-2-(5-бромфурил-2)этена **1a** с циклическими СН-кислотами в среде безводного метанола при комнатной температуре требуют длительной выдержки и приводят к образованию фурансодержащих нитродигидрофуранов **4**, **6**, **8**, **10**, а реакции 1-бром-1-нитро-2-(5-нитрофурил-2)этена **1b** с этими СН-кислотами завершаются формированием фурансодержащих фуранов **5b**, **7b**, **9**, **11**, **12b**.

Проведение реакций *гем*-бромнитроэтенов **1a, b** с циклическими СН-кислотами при кипячении в среде безводного бензола в присутствии триэтиламина, не зависимо от природы заместителя в фурановом кольце субстрата, завершается образованием фурансодержащих фуранов **5**, **7**, **9**, **11**, **12** без выделения промежуточных нитродигидрофурановых структур.

В отличии от реакций с циклическими СН-кислотами, взаимодействие 1-бром-1-нитро-2-(5-бром(нитро)фурил-2)этенов **1a, b** с линейными СН-кислотами, не зависимо от заместителя в фурановом цикле, приводит к образованию нитродигидрофуранов **2**, **3**. Вместе с тем, использование в этой реакции нессиметричного бензоилацетона приводит к выделению смеси региоизомеров **3a'** и **3a''**, **3b'** и **3b''**.



Строение синтезированных соединений **2-12** охарактеризовано данными ИК, ЯМР ^{1}H и ^{13}C спектроскопии, а для некоторых представителей **4** и **12a** получены результаты рентгеноструктурного анализа.

Список литературы:

1. *Halimehjani A. Z., Tahvildari H.* // Org. Biomol. Chem. 2024. Т. 22. №. 24. С. 4801-4838. DOI: 10.1039/D4OB00221K.
2. *Берестовицкая, В.М., Макаренко С.В. Лысенко К.А., Елисеенко С.С., Байчурин Р.И.* // ЖОрХ. 2015. Т. 51. №. 9. С. 1312-1318.

СИНТЕЗ ПОТЕНЦИАЛЬНО АНТИ-ОРТОПОКСВИРУСНЫХ 2-(2-АРИЛЭТЕНИЛ)ИМИДАЗОЛОВ

Михеев Н.А., ***Басанова Е.И., Никитина П.А.***

РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва

mikheev.muctr@mail.ru

Молекулы, содержащие фрагмент имидазола, обладают широким спектром фармакологической активности и являются перспективными в области медицины [1]. Данные соединения могут быть использованы для поиска новых потенциальных ингибиторов в отношении ортопоксвирусов [2]. В настоящее время наиболее активным анти-ортопоксвирусным препаратом является тековиримат. Были доказано, что он связывается с переходным димерным состоянием белка-мишени p37, стабилизируя его и тем самым способствуя образованию гомодимера [3]. Поэтому целью работы является скрининг in silico 2-(2-арилэтенил)имидазолов. При помощи пакета программ AutoDock Vina был проведен молекулярный докинг с потенциально активными производными имидазола с димером F13L и мономером p37, полученные из базы данных PDB.

Путём взаимодействия α-гидроксилиминокетонов ***3-4*** с коммерчески доступными коричными альдегидами ***1-2*** и ацетатом аммония при нагревании до 75-95°C в ледяной уксусной кислоте были получены 2-(2-арилэтенил)-1-гидроксиимидазолы ***6-10***.

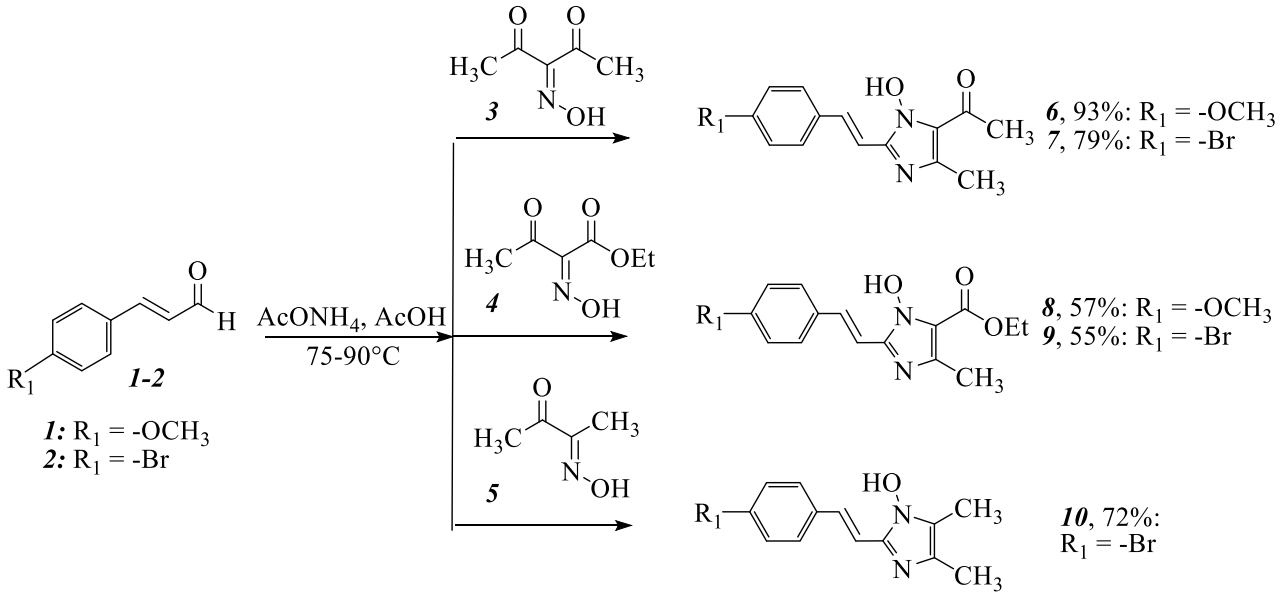


Схема 1. Синтез 2-(2-арилэтенил)-1-гидроксиимидазолов ***6-10***.

Далее некоторые 1-гидроксиимидазолы были прометилированы йодметаном в присутствии гидроксида калия в диметилформамиде. Введение N-метоксигруппы в структуру 2-арилимидазолов несколько снижает вирусингибирующую способность различных производных, однако в то же

время приводит к значительному уменьшению их токсичности, что в конечном счёте делает 1-метоксиимидазолы более перспективными соединениями для разработки противовирусных препаратов. Стоит отметить, что реакция алкилирования преимущественно проходит по атому кислорода гидроксигруппы:

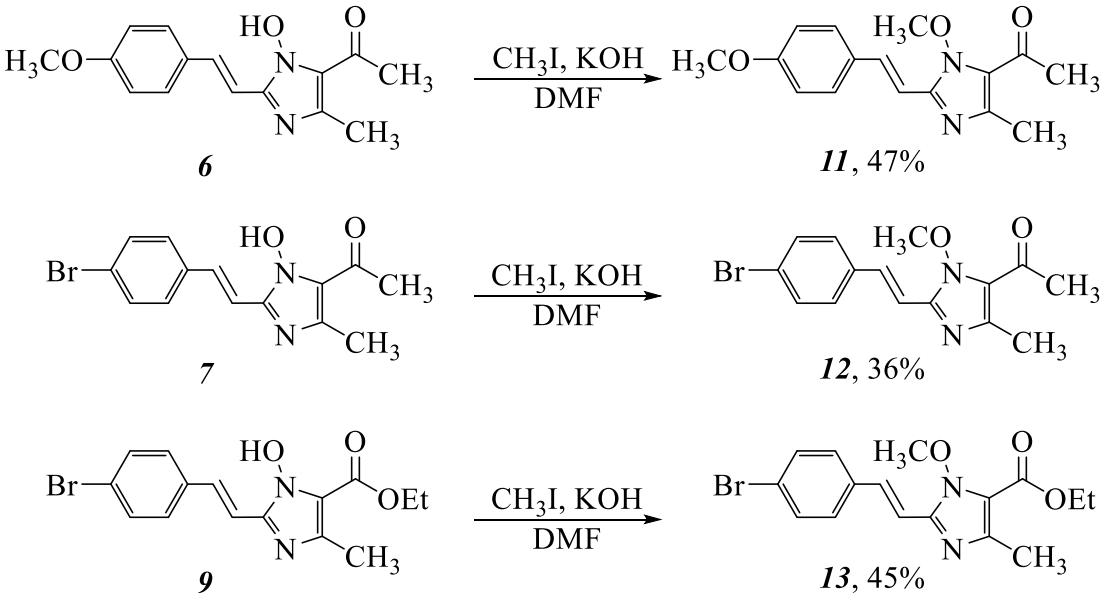


Схема 2. Синтез 2-(2-арилэтенил)-1-метоксиимидазолов ***11-13***.

Строение полученных соединений охарактеризовано данными ^{1}H и ^{13}C спектроскопии.

Следует отметить, что лиганды встраиваются в фосфолипазный домен, по аналогии с активным препаратом – тековириматом, так как находятся в определенном кармане и окружении аминокислот. Также данные производные проявляют высокую энергию связывания с димером белка F13L.

Таким образом, на основании полученных данных, можно предположить о том, что соединения ***6-13*** являются перспективной платформой для дальнейшей модификации с целью увеличения энергии связывания и эффективности лиганда.

Список литературы

1. *Laufer S. A., Zimmermann W., Ruff K. J.* // J. Med. Chem. 2004. V. 47. № 25. P. 6311–6325. DOI: 10.1021/jm0496584.
2. *Golfarb-Abramov V. O. Kazennova, A. V., Basanova, E. I., Serova, O. A., Bormotov, N. I., Shishkina, L. N., Nikitina, P. A.* // New Journal of Chemistry. 2025. V. 49. № 45. P. 19699-19717. DOI: 10.1039/D5NJ03203B.
3. *Vernuccio, R., Martínez León, A., Poojari, C. S., Buchrieser, J., Selverian, C. N* // Nature Microbiology. 2025. V. 10. № 3. P. 734-748. DOI: 10.1038/s41564-025-01936-6.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00507, https://rscf.ru/project/25-23-00507/

СИНТЕЗ НОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ОБЛАДАЮЩИХ ФОТОХРОМНЫМИ СВОЙСТВАМИ

***Москва В.В.*, Мирошников В.С., Масленченко А.Ю.**

РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва

moskva.vladimir@mail.ru

В последние годы фотохромные соединения всё чаще используются для создания новых перспективных материалов, которые применяются для записи, хранения и считывания информации, изготовления фотохромных линз, светофильтров, голографических устройств, а также молекулярных систем, которые могут быть использованы при конструировании наноразмерных фотонных и оптико-электронных устройств и переключателей [1]. Одним из наиболее важных классов органических соединений, проявляющих фотохромные свойства являются спиропираны [2, 3]. В последние годы они вызывают большой интерес у российских и зарубежных исследователей.

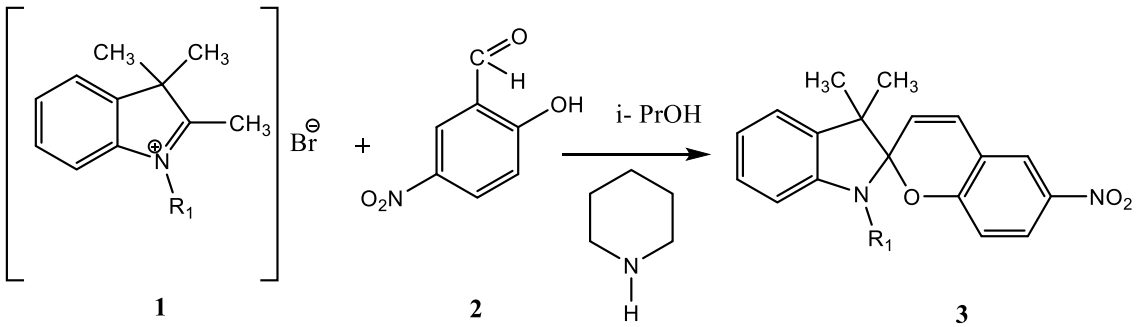
Нами были разработаны методики получения промежуточных продуктов и спиропирановых соединений индолинового ряда.

Для получения спиропирановых красителей были синтезированы промежуточные продукты – четвертичная аммонийная соль и сложный эфир:

1. 4-(2-бромэтокси)-4-оксобутановую кислоту синтезировали путём этерификации β-бромэтилового спирта янтарным ангидридом в хлороформе в присутствии 4-N, N-диметиламинопиридина.

2. 1-(2-((3-карбоксипраноил)окси)этил)-2, 3, 3-триметил-3*H*-индолиум-1 бромид синтезировали путём кватернизации 2, 3, 3-триметилиндоленина 4-(2-бромэтокси)-4-оксобутановой кислотой в сухом ацетонитриле, который использовался в качестве растворителя.

Спиропирановые соединения синтезировались из полученных промежуточных продуктов по общей схеме:



1 **2** **3**

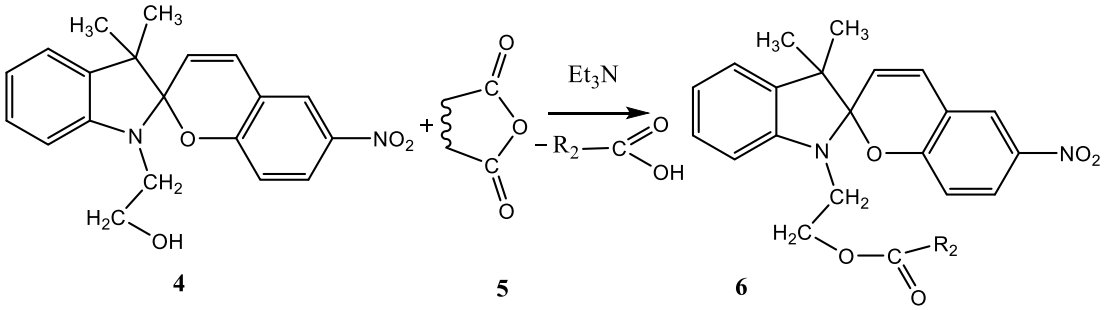
Были синтезированы спиропирановые красители:

1. 2-(3', 3'-диметил-6-нитроспиро[хромен-2, 2'- индолин]-1'-ил) уксусная кислота 3 (R_1= -CH_2-COOH) синтезировали путём конденсации 1-(карбоксиметил), 2, 3, 3-триметилиндолениний бромида **1** (R_1= -CH_2-COOH) с 5-нитросалициловым альдегидом **2** в абсолютированном изопропиловом спирте в присутствии пиперидина.

2. 4-(2-(3',3'-диметил-6-нитроспиро[хромен-2,2'-индолин]-1'-ил) этокси)-4-оксобутановая кислота 3 (R_1= -CH_2-CH_2-O-C(=O)-CH_2-CH_2-COOH) синтезировали путём конденсации 1-(2-((3-карбоксипраноил)окси)этил)-2,3,3-триметил-3*H*-индолиум-1 бромида **1** (R_1= -CH_2CH_2-O-C(=O) -CH_2CH_2-COOH) с 5-нитросалициловым альдегидом **2** в абсолютированном изопропиловом спирте в присутствии органического основания – пиперидина.

3. 2-(3',3'-диметил-6-нитроспиро[хромен-2,2'-индолин]-1'-ил)этан-1-ол (MVV-2) 3 (R_1= -CH_2-CH_2-OH) синтезировали путём конденсации 1-(β-гидроксиэтил)-2,3,3-триметил-3*H*-индолиум-1 бромида **1** (R_1= -CH_2-CH_2-OH) с 5-нитросалициловым альдегидом **2** в абсолютированном изопропиловом спирте в присутствии триэтиламина.

Ацилированием красителей, содержащих свободную гидроксильную группу, синтезировали два спиропирановых красителя по общей схеме:



1. 4-(2-(3',3'-диметил-6-нитроспиро[хромен-2,2'-индолин]-1'-ил) этокси)-4-оксобутановая кислота 6 (R_2= -CH_2-CH_2-O-C(=O)-CH_2-CH_2-COOH) синтезировали путём ацилирования спиропиранового красителя (**MVV-2) 4** янтарным ангидридом **5** в нефтяном *орто*-ксилоле в присутствии триэтиламина. Таким образом, был проведён встречный синтез спиропиранового красителя **6**.

2. 2-((2-(3',3'-диметил-6-нитроспиро[хромен-2,2'-индолин]-1'-ил)этокси)карбонил) бензойная кислота 6 (-C(=O)-C_6H_4COOH) синтезировали путём ацилирования спиропиранового красителя (**MVV-2) 4** *орто*-фталевым ангидридом **5** в нефтяном *орто*-ксилоле в присутствии триэтиламина и 4-N,N-диметиламинопиридина (DMAP).

Список литературы

1. *Барачевский В.А.* Фотохромизм и его применение. М.: Химия, 1977. 278 с.
2. *Ельцов А.В.* Органические фотохромы. Л.: Химия, 1982. 285 с.
3. *Алдошин С.М.* Спиропираны. Особенности строения и фотохимические свойства. Черноголовка: ИХФ, 1989. 81 с.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ЗАТРУДНЁННЫЕ ФЕНОЛЫ В КАЧЕСТВЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОЛИУРЕТАНОГО ПОЛИМЕРА

Нагиева М.В., Алиева-Пашаева К.Ш., ***Расулов Ч.К., Гаджиева Г.Ф.***

Институт нефтехимических процессов им. акад. Ю.Г.Маммедалиева Министерства Науки и Образования Азербайджана

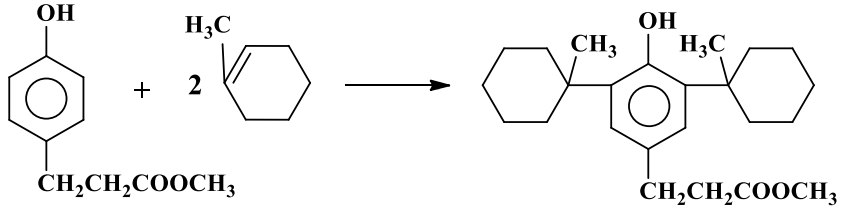
mehri.nagieva@mail.ru

Каталитическое алкилирование фенола остаётся актуальной областью исследований ввиду широкого спектра применения фенольных соединений. Особое внимание уделяется пространственно-затруднённым фенолам, обладающим высокой антиоксидантной активностью, что позволяет эффективно использовать их для стабилизации полимерных материалов, жиров и масел от окислительной и термической деструкции [1-3].

Цель настоящего исследования — синтез пространственно-затруднённых циклоалкилфенолов на основе метилового эфира 4-гидроксифенилпропионовой кислоты (МЭПК) и циклоалкенов (1-метилциклогексен, 3-метилциклогексен) в присутствии катализатора КУ-23, а также изучение их эффективности в качестве стабилизаторов для полиуретанового полимера.

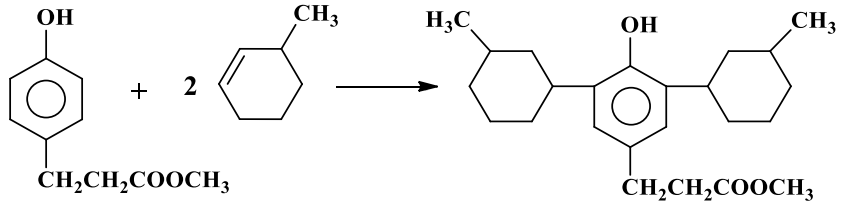
В качестве исходных продуктов использовали метиловый эфир 4-гидроксифенилпропионовой кислоты (МЭПК), 1-метилциклогексен (1-МЦГ), 3-метилциклогексен (3-МЦГ).

Циклоалкилирование МЭПК 1-метилциклогексеном протекает по схеме:



С целью нахождения оптимального режима для процесса циклоалкилирования МЭПК 1-метилциклогексеном в присутствии катализатора КУ-23, исследовано влияние температуры реакции, продолжительности опыта, мольного соотношения МЭПК к 1-МЦГ и количества катализатора в расчете на взятый эфир. В результате выявлены оптимальные условия (температура – 110ºС, продолжительность опыта – 6 ч, мольное соотношение МЭПК:1-МЦГ – 1:2, количество катализатора – 10% на взятый эфир), при которых достигается наибольший выход и селективность целевого – метилового эфира 3,5-ди-(1-метилциклогексил)-4-гидроксифенилпропионовой кислоты составляет 72.5 и 94.3% соответственно.

О,о-циклоалкилирование МЭПК 3-метилциклогексеном протекает по схеме:



Реакция с 3-метилциклогексеном проводилась при тех же условиях, что и с 1-метилциклогексеном: температура 110 °C, продолжительность 6 часов, мольное соотношение реагентов 1:2, количество катализатора – 10 %. В указанных условиях выход целевого продукта составляет 67.4 %, а селективность процесса – 91.4 %.

Добавление синтезированных эфиров (в концентрации 1.5 %) в процессе получения полиуретана продемонстрировало их хорошую совместимость с полимерной матрицей. Изготовленные на их основе плёнки были подвергнуты испытаниям на устойчивость к термоокислительной и световой деструкции (150°C, 6 часов окисления и 40 часов УФ-облучения). Результаты подтвердили перспективность использования данных соединений в качестве эффективных термостабилизаторов для полиуретановых покрытий, включая материалы на основе искусственной кожи.

Таким образом, установлены оптимальные параметры процесса, позволяющие достигать высоких выходов (67.4-72.5 %) и селективности (91.4-94.3 %) при циклоалкилировании МЭПК с применением катализатора КУ-23.

Список литературы

1. *Нагиева М.В., Расулов Ч.К.* // Изв. вузов. Химия и хим. технол. 2023. Т. 66. № 6. С. 85. DOI: 10.6060/ivkkt.20236606.6777
2. *Расулов Ч.К., Агамалиев З.З., Гасанова Г.Д., Нагиева М.В.* Синтез алкилфенолов и применение их в реакциях аминометилирования. Баку: Муаллим, 2021. 197 с.
3. *Hesenov A.A., Qurbanli U.R., Rasulov Ch.K., Haydarli G.Z., Naghiyeva M.V.* // Russ. J. Gen. Chem. 2023. Vol. 93. N 3. P. 754. DOI: 10.1134/S1070363223030337

ПАЛЛАДИЙ- И НИКЕЛЬКАТАЛИЗИРУЕМЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ИЗОЦИАНИДОВ В СИНТЕЗЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ

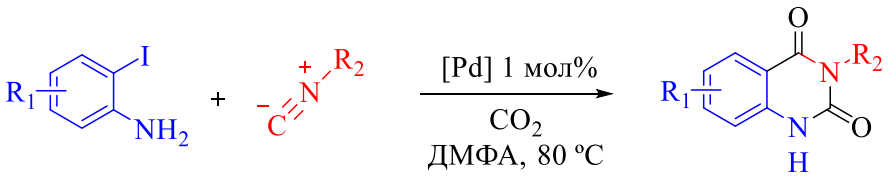
Нгуен Т.К.*, *Кинжалов М.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

st049098@student.spbu.ru

Изоцианиды являются одним из распространенных С1-синтонов для построения разнообразных азотсодержащих гетероциклических систем. В таких синтезах широко применяется металлокомплексный катализ, включающий процессы миграционного внедрения изонитрильных групп. Наибольшее распространение в качестве катализаторов получили комплексы палладия, что обусловлено его электронной конфигурацией. Однако детальные механистические исследования, особенно для многокомпонентных процессов, остаются малоизученными.

Нами исследована реакция образования хиназолин-2,4(1*H*,3*H*)-дионов посредством трехкомпонентного сочетания *орто*-иоданилинов, изоцианидов и CO_2 в условиях палладиевого катализа с низкой каталитической загрузкой. Проведена оптимизация условий процесса, включая варьирование природы растворителя, каталитической системы и температурного режима. Продемонстрирована широкая субстратная область реакции, охватывающая стерически затрудненные изоцианиды. Изучена каталитическая активность комплексов палладия с различными типами лигандов: галогенидами, фосфинами, изоцианидами и ациклическими диаминокарбеновыми лигандами [1].



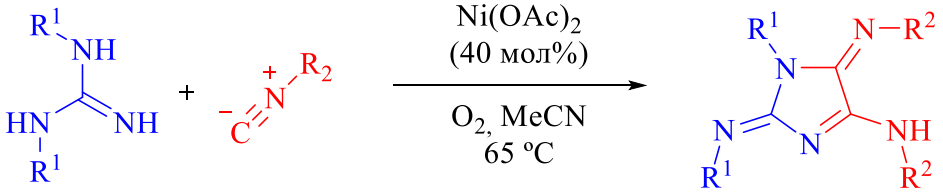
1 **2** **3**

60-98%

11 соединений

Изучены и примеры внедрения изоцианидов, катализируемые соединениями никеля. Однако в отличия палладиевого катализа, использование никелевых катализаторов обычно приводит к многократному внедрению изоцианидов по связи Ni–C с образованием полимеров, а не целевых азогетероциклов. Нами продемонстрирована возможность проведения реакции сочетания изоцианидов с дифенилгуанидинами в присутствии никелевого катализатора, приводящей к синтезу ранее не описанных производных имидазола. Выявлены ключевые факторы, влияющие на выход целевых

продуктов, и показана необходимость присутствия молекулярного кислорода для протекания реакции. Установлена широкая субстратная область процесса, включающая как стерически затрудненные изоцианиды, так и разнообразные гуанидины.



1 **2** **3**

47-91%

17 соединений

Структура всех синтезированных соединений подтверждена комплексом физико-химических методов, включая ЯМР ^{1}H, ^{13}C и рентгеноструктурный анализ. С помощью метода ESI-HRMS идентифицированы ключевые интермедиаты на основе палладия, что позволило подтвердить молекулярный механизм катализа, протекающий через динамическое равновесие между различными формами палладиевых комплексов в ходе многокомпонентной реакции [1]. Методом ESI-HRMS также идентифицированы ключевые интермедиаты на основе никеля, что свидетельствует в пользу механизма катализа, включающего цикл Ni^{II}/Ni^{IV} [2].

Список литературы

1. *Нгуен Т.К., Каткова С.А., Краева Л.А., Ростовский Н.В., Кинжалов М.А.* // ЖОрХ. 2025. Том 61. №6. 204-217 с. DOI: 10.7868/S3034630425080227.
2. *Gavrilov G.A., Nguyen T.K., Katkova S.A., Rostovskii N.V., Rogacheva E.V., Kraeva L.A., Kinzhalov M.A.* // ChemMedChem. 2025. Vol 20. e202400904. DOI: 10.1002/cmdc.202400904.

Работа выполнена с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования», «Магнитно-резонансные методы исследования», «Методы анализа состава вещества»

СИНТЕЗ И ОЦЕНКА ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ АКТИВНОСТИ НОВЫХ ФЕРРОЦЕНМОДИФИЦИРОВАННЫХ ПИРАЗОЛО[1,5-*a*]ПИРИМИДИНОВ

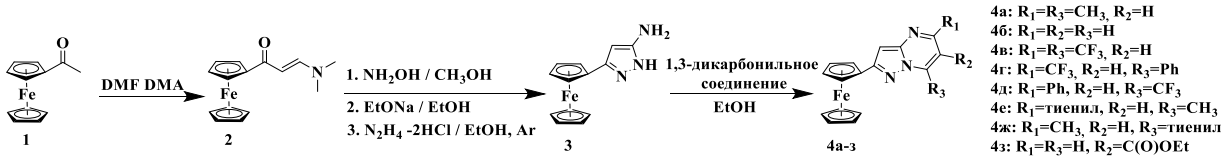
***Никитченко Е.Д.*, Родионов А.Н.**

ИНЭОС им. А. Н. Несмеянова РАН, Москва

little_seal@mail.ru

Ферроцен является уникальным липофильным и эдектрохимически-активным металлоорганическим соединение, который определяет мембранотропную активность его производных [1]. Пиразолопиримидины, в свою очередь, представляют собой конденсированные гетероциклы, способные целенаправленно ингибировать протеинкиназы опухолевых клеток [2,3]. Стратегия объединения этих двух перспективных классов в единую гибридную молекулу – синтез ферроцен-пиразолопиримидиновых конъюгатов — направлена на создание новых противоопухолевых препаратов со сложным механизмом действия.

Синтетическая стратегия заключалась в постадийной сборке пиразоло[1,5-α]пиримидинового гетероцикла непосредственно на предварительно функционализированном ферроценовом каркасе. Строение всех целевых соединений и интермедиатов было подтверждено комплексов современных физико-химических методов анализа, включая ЯМР-спектроскопию, масс-спектрометрию и данными рентгеноструктурного анализа.



Была исследована противоопухолевая активность синтезированных ферроценилпиразолопиримидинов в отношении группы линий опухолевых клеток человека (A549, HCT116, MDA-MB231, MCF7, SKBR3, SCOP3) Соединение **4б** проявило самую высокую активность, особенно в отношении линии карцинома легкого A549 (IC_{50} = 1,5 мкм). Линии рака молочной железы MDA-MB231 и MCF7 оказались устойчивыми к большинству соединений, в то время как линия SCOP3 продемонстрировала универсальную чувствительность.

Культуры клеток	IC_{50}, μM							
	4а	**4б**	**4в**	**4г**	**4д**	**4е**	**4ж**	**4з**
A549	15.8±1.1	1.5±0.04	6.7±0.2	14.0±0.9	15.7±1.0	8.2±0.6	14.6±0.8	11.2±0.3
HCT116	6.7±0.04	6.8±0.5	5.6±0.02	40.4±2.8	14.5±1.1	11.0±0.8	16.3±0.6	9.9±0.6
MDA-MB231	13.6±0.7	16.4±0.4	>100	>100	15.6±1.1	19.4±0.9	>100	>100
MCF7	>100	>100	>100	>100	36.1±2.7	17.1±1.1	>100	>100
SKBR3	24.6±0.7	>100	19.7±0.4	10.9±0.8	>100	21.4±1.1	>100	15.0±1.2
SCOV3	11.1±0.4	21.8±1.2	11.8±0.6	21.1±0.9	14.0±0.6	22.2±1.3	9.4±0.3	8.6±0.6

Список литературы

1. *Singh A., Lumb I., Mehra V., Kumar V.* // Dalton Trans. 2019. Vol. 48. N 9. P. 2840. DOI: 10.1039/C8DT03440K
2. *Arias-Gómez A., Godoy A., Portilla J.* // Molecules. 2021. Vol. 26. N 9. P. 2708. DOI: 10.3390/molecules26092708
3. *Iorkula T.H., Osayawe O.J.-K., Odogwu D.A, Ganiyu L.O, Faderin E., Awoyemi R.F., Akodu B.O., Ifijen I.H., Aworinde O.R., Agyemang P., Onyinyechi O.L.* // RSC Adv. 2025. Vol. 15. N 5. P. 3756. DOI: 10.1039/D4RA07556K

НОВЫЙ МЕТОД НЕКАТАЛИТИЧЕСКОЙ С-Н ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ N-ОКСИДОВ АЗОЛОВ

Никтаров А.С., ***Митянов В.С.***

РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва

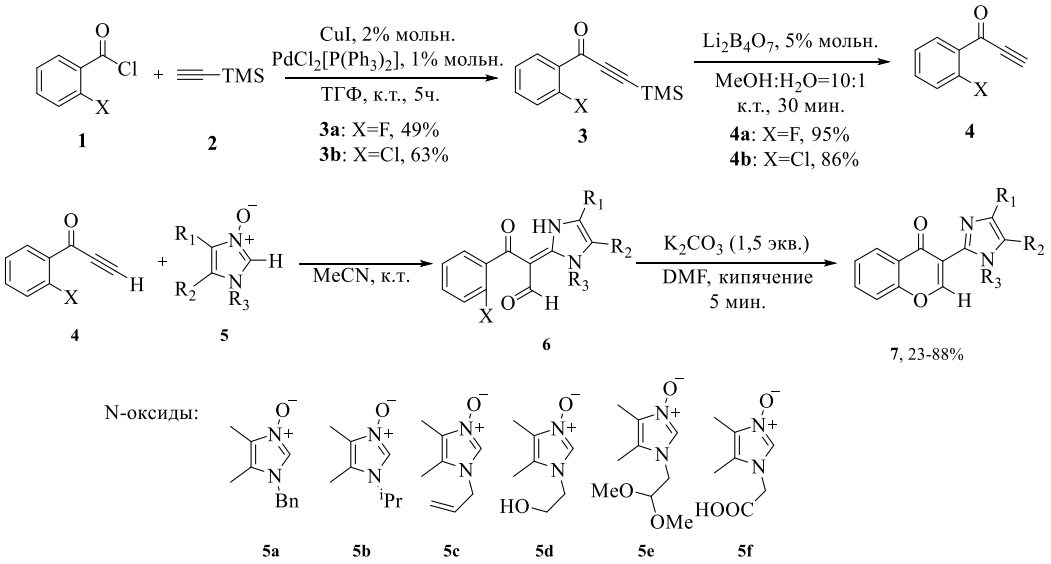
aniktarov@list.ru

В настоящее время химия гетероциклических N-оксидов широко изучена [1]. Но их реакционная способность по отношению к моноацилированным ацетиленам представлена немногочисленными примерами [2], не охватывающими N-оксиды пятичленных гетероциклов (N-оксиды имидазолов, тиазолов, оксазолов).

Нами было исследовано взаимодействие 2-незамещенных N-оксидов имидазолов с моноацилированными ацетиленами. Исходные ацетилены были получены согласно известной методике [3] в две стадии.

Взаимодействие N-оксидов имидазолов **5** с ацетиленами **4** приводит к образованию 2-имидазолилзамещенного проп-1,3-диона **6**.

В кипящем ДМФА в присутствии поташа соединение **6** претерпевает внутримолекулярную конденсацию с образованием хромона **7**.



В ходе работы была исследована реакционная способность ряда N-оксидов имидазолов в реакциях с ацетиленами, а так же возможность использования бензоилацетиленов для формирования хромонового фрагмента.

Список литературы

1. *Kutasevich A. V., Perevalov V. P., Mityanov V. S.* // Eur. J. Org. Chem. 2021, Vol. 2021, P. 357. DOI:10.1002/ejoc.202001115.
2. *Yang W.-W., Chen L.-L., Chen P., Ye Y.-F., Wang Y.-B., Zhang X.* // Chem. Commun. 2020, Vol. 56, P. 1183. DOI: 10.1039/c9cc08713c.
3. Karpov A. S., Mu1ller T. J. J. // Org. Lett. 2003, Vol. 5, P. 3451. DOI: 10.1021/ol035212q.

ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ХИТОЗАНА НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

Новиков М.А., ***Безнаева О.В., Тверитникова И.С., Кирш И.А.***

ФГБОУ ВО РОСБИОТЕХ, Москва

aanovikovnovikov@yandex.ru

Создание полимерных материалов с различными свойствами является перспективным направлением в полимерной химии. Одним из способов придания новых свойств полимерам является химическая модификация полимера различными добавками.

Материалом, представляющим интерес для химической модификации, может послужить хитозан. Хитозан–аминополисахарид, состоящий из β-(1→4)-связанных остатков D-глюкозамина, а также N-ацетил-D-глюкозамина. Этот полимер нашел применение во многих сферах: медицина, сельское хозяйство, виноделие, пищевая промышленность [1].

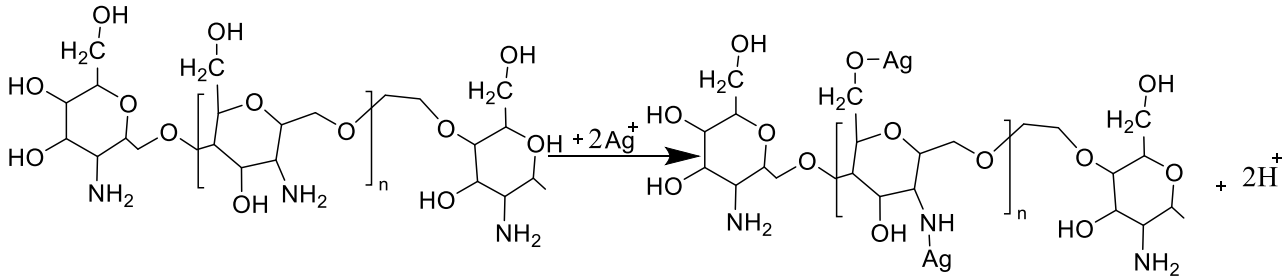
Модификация полимеров наночастицами серебра позволяет придать антимикробные свойства, а также улучшить физико-механические свойства полимера [2].

Целью исследования является изучение механизма химической модификации хитозана путем введения частиц наносеребра в раствор хитозана, установить факт модификации полимера.

Методы исследования:

1. Структурно морфологический анализ методом оптической микроскопии;
2. Ик-спектроскопия – ГОСТ Р 57941-2017 «Композиты полимерные. Инфракрасная спектроскопия. Качественный анализ».

Модификация хитозана происходит согласно уравнению реакции:



Структурно морфологический анализ выявил изменения в полимере. У образца с добавлением наночастиц серебра на поверхности видны отдельные агломераты, цвет пленки также сменился с темно-желтого на темно коричневый.

Произошли структурные изменения - материал перестал быть гомогенным.

Факт модификации подтвердился ИК-спектроскопией, результаты представлены на Рис. 1 и 2.

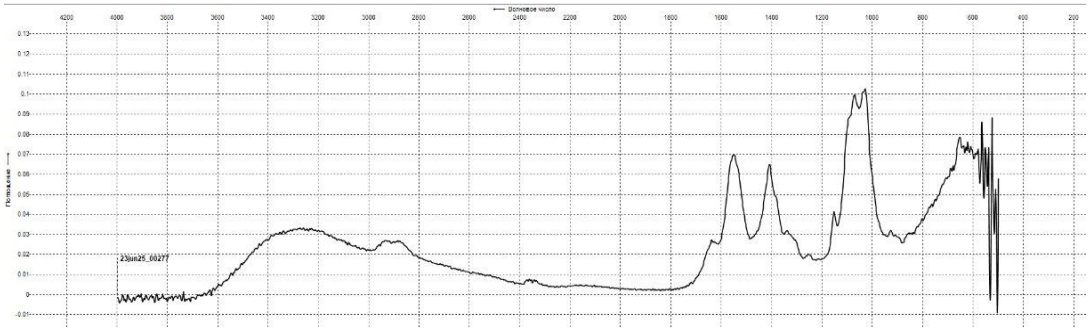


Рисунок1. ИК-спектроскопия чистого хитозана

Данный спектр характеризует следующие функциональные группы, находящиеся в полимере 1200-1000 $См^{-1}$, Пики гидроксильных групп и гликозидных связей находятся в интервале 1600-1400 $См^{-1}$ и 3600-3200 $См^{-1}$ соответственно.

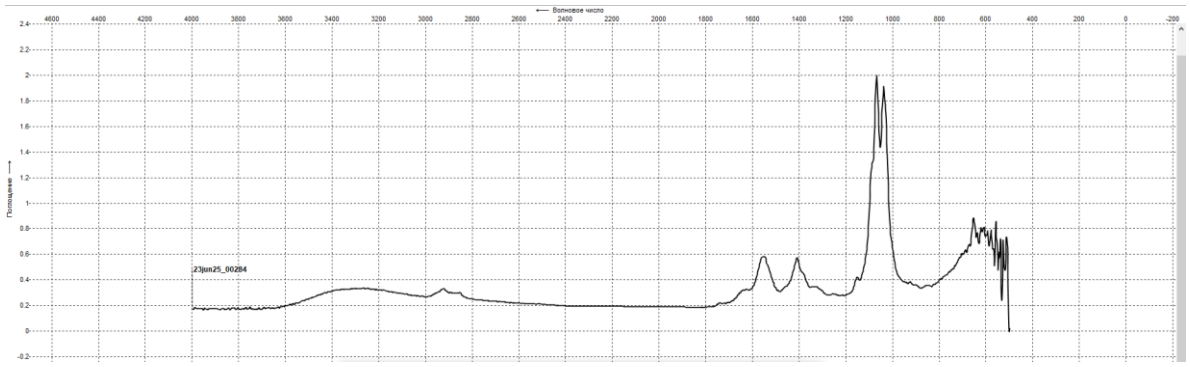


Рисунок 2. ИК-спектроскопия хитозана с добавлением наночастиц серебра

На ИК-спектре (Рис. 2) материала с добавление наночастиц серебра заметно изменение интенсивности пиков гидроксильных групп, что говорит о частичном замещении атома водорода, находящегося в гидроксильной группе на ион серебра. Снижение интенсивности пика в области 3600-3200 $см^{-1}$ указывает на замещение в аминогруппе полимера.

Таким образом, модификация хитозана наночастицами серебра идет по механизму электрофильного замещения с атакой, осуществляемой ионом серебра, выступающим в роли электрофила, водород является уходящей группой.

Список литературы

1. *Мезина Е.А., Липатова И.М.* // ЖПХ. 2015. Т. 88. № 10. С. 1390. DOI: 10.1134/S1070427215100031
2. *Крутяков Ю.А., Кудринский А.А., Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В.* // Успехи хим. Т. 77. № 3. 2008. С. 242. DOI: 10.1070/RC2008v077n03ABEH003751
3. ГОСТ Р 57941-2017 «Композиты полимерные. Инфракрасная спектроскопия. Качественный анализ». 2017. 27 с.

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИЙ СИНТЕЗА ПРОИЗВОДНЫХ ПРИРОДНЫХ ХЛОРИНОВ С АННЕЛИРОВАННЫМИ ГЕТРОЦИКЛАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ РАЗЛИЧНЫЕ ГЕТЕРОАТОМЫ, И ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ

Погорилый В.А., ***Картава Ю.С., Шипулина Н.А., Домашова А.Е., Зотов В.В., Павлова П.А., Грин М.А.***

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

pogorilviktor@gmail.com

Одним из наиболее перспективных классов фотосенсибилизаторов (ФС) являются производные природных тетрапиррольных макроциклов, в частности хлорины. Для целенаправленного улучшения их фотофизических, фармакокинетических и терапевтических характеристик актуальной стратегией является структурная модификация с созданием аннелированных гетероциклов, содержащих различные гетероатомы.

Особый интерес представляет создание халькогенсодержащих фотосенсибилизаторов. Такие соединения, включающие в свой состав серу или селен, обладают значительным потенциалом для диагностики и лечения онкологических заболеваний благодаря уникальным физико-химическим свойствам, присущим этим элементам. Наличие атомов халькогенов в молекуле ФС способствует оптимизации ключевых фотофизических параметров, таких как квантовый выход синглетного кислорода и уникальные спектральные характеристики.

Параллельно актуальным является направление модификации природных хлоринов фосфорсодержащими функциональными группами. Введение таких остатков позволяет целенаправленно улучшать фармакокинетические свойства фотосенсибилизаторов. Фрагменты, содержащие фосфатные или фосфонатные, способствуют повышению гидрофильности и, как следствие, биодоступности соединений, а также могут усиливать их тропность к опухолевым клеткам за счёт специфических взаимодействий с клеточными мембранами и внутриклеточными мишенями. Особенно перспективной представляется разработка на этой основе митохондриально-таргетных форм, способных селективно индуцировать апоптоз в злокачественных новообразованиях.

В рамках настоящей работы были разработаны стратегии синтеза фотосенсибилизаторов, предусматривающие их функционализацию как халькоген- (сера, селен), так и фосфорсодержащими группами. Подобные модифицированные соединения открывают новые возможности для создания высокоэффективных терапевтических агентов с улучшенными фотофизическими и биологическими характеристиками.

Исследование проведено в рамках проекта «НИЧ-РАДИОФАРМПРЕПАРАТЫ-П25» в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства РТУ МИРЭА «Приоритет2030».

ОДНОСТАДИЙНЫЙ СИНТЕЗ СПИРОЦИКЛИЧЕСКИХ БАРБИТУРАТОВ НА ОСНОВЕ 1,3-ДИПОЛЯРНОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ

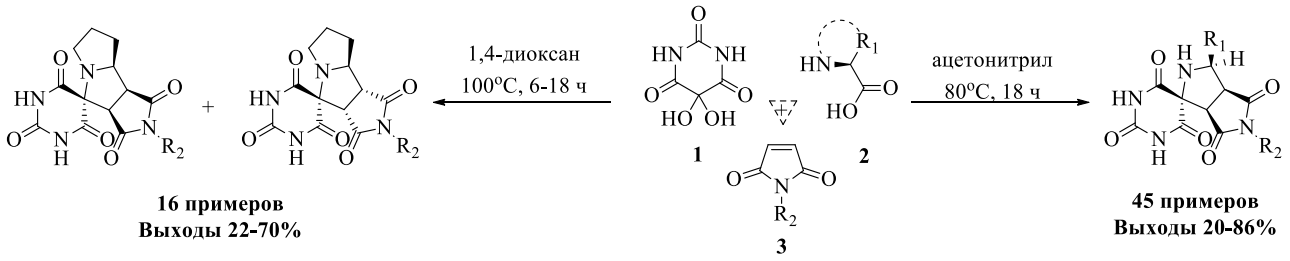
Пузырьков А.А.,[1] ***Степаков А.В.***[1,2]

[1]*СПбГУ, Санкт-Петербург*
[2]*СПбГТИ(ТУ), Санкт-Петербург*

artur.puzyrkov@yandex.ru

История и химия барбитуратов берет свое начало с 1862 года, когда молодой химик Адольф Байер синтезировал барбитуровую кислоту конденсацией малоновой кислоты и мочевины [1]. В медицинской практике барбитураты нашли свое применение как успокоительные и противосудорожные средства. Спиропроизводные барбитуровой кислоты, имеющие трехмерную структуру и спиросочлененный пиримидин-2,4,6-трионовый цикл, в отличии от предыдущего поколения барбитуратов, обладают меньшим количеством побочных эффектов и более широким спектром биологической активности [2].

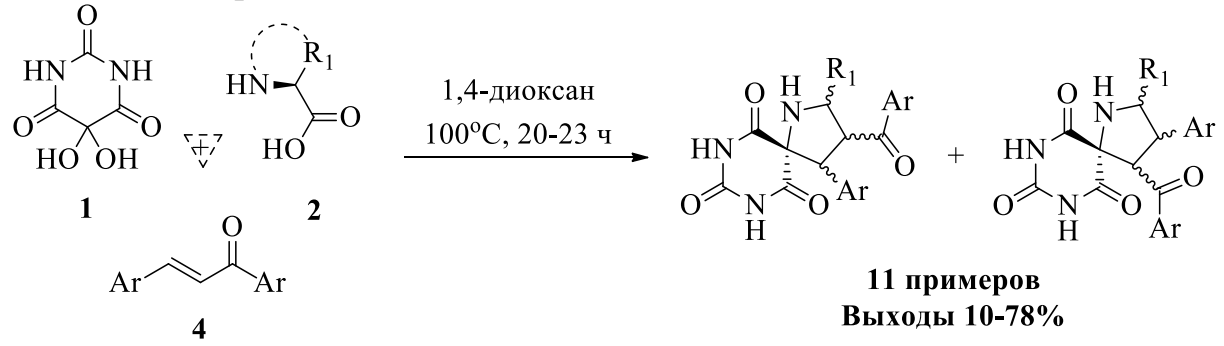
В нашей работе мы исследовали новый метод конструирования спироциклических систем, содержащих фрагмент пиримидин-2,4,6-триона, который основан на одностадийной трехкомпонентной реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения, где в качестве 1,3-диполя выступает азометин-илид, генерируемый *in situ* из аллоксана **1** и α-*L*-аминокислот **2**.



На первом этапе мы исследовали реакции [3+2]-циклоприсоединения азометин-илидов, полученных *in situ* из аллоксана и первичных α-аминокислот, к *N*-замещенным малеимидам **3**. Реакции, в большинстве случаев, протекали диастереоселективно с образованием *эндо*-изомеров. Для аналогичных реакций с участием азометин-илида на основе *L*-пролина, диастереоселективность реакций резко снижалась, в результате чего были получены неразделимые смеси *эндо*- и *экзо*-изомеров, с преобладанием *эндо*-циклоаддуктов. Циклоаддукты на основе пролина были исследованы на антипролиферативную активность против некоторых линий раковых клеток с помощью *in vitro* MTS-теста. Результаты биологических испытаний показали, что полученные

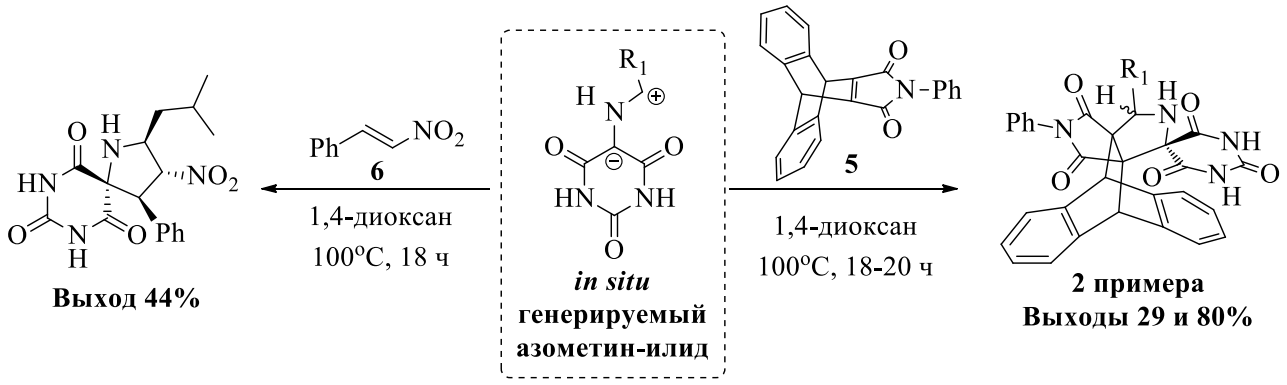
спиробарбитураты вызывают значительные изменения в структуре актинового цитоскелета клеток Sk-mel-2.

Вторым направлением нашей работы является изучение [3+2]-циклоприсоединения азометин-илидов на основе аллоксана и α-аминокислот, к различным халконам **4**.



Было установлено, что при использовании незамещенного халкона образуется только один регио- и диастереомер, если в ароматических ядрах халкона **4** имеются заместители – реакции протекают с образованием смеси как регио-, так и диастереомеров.

При использовании антрацендикарбоксимида **5** и β-нитростирола **6**, реакции протекают диастереоселективно с образованием *эндо*-изомеров с выходами от умеренных до высоких.



Структура полученных соединений была подтверждена ЯМР ^{1}H, ^{13}C, ^{19}F, 2D HSQC ^{1}H-^{13}C и COSY ^{1}H-^{1}H спектроскопией, а также масс-спектрометрией. Конфигурация стереоцентров в циклоаддуктах была подтверждена с помощью данных рентгеноструктурного анализа.

Список литературы

1. *Baeyer A.* // Ann. Chem. 1863. Vol. 127. N 2. P. 199. DOI: 10.1002/jlac.18631270214
2. *Filatov A.S., Selivanov S.I., Shmakov S.V., Larina A.G., Boitsov V.M., Stepakov A.V.* // Synthesis. 2022. Vol. 54. N 7. P. 1803. DOI: 10.1055/a-1700-3115

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ 1-АРИЛ-3-НИТРОПРОП-2-ЕН-1-ОНОВ С ПЕНТАН-2,4-ДИОНОМ

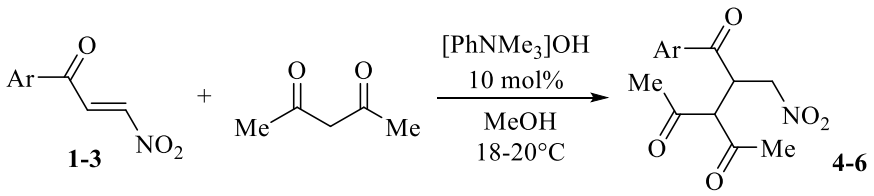
***Розин Д.И.*, Пелипко В.В., Гомонов К.А.**

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

kohrgpu@yandex.ru

1-Арил-3-нитропроп-2-ен-1-оны высоко реакционноспособные соединения, активно взаимодействующие с нуклеофильными реагентами [1, 2]. Ранее установлено, что реакции 1-арил-3-нитропропенонов с циклическими СН-кислотами приводят к образованию аддуктов Михаэля [3], при этом исследований с линейными СН-кислотами не проводилось.

Нами показано, что взаимодействие 1-арил-3-нитропроп-2-ен-1-онов **1–3** с пентан-2,4-дионом протекает в растворе безводного метанола в присутствии катализатора Родионова – спиртового раствора гидроксида триметилфенил-аммония (10 моль%) при комнатной температуре и приводит к образованию аддуктов Михаэля **4–6**. Регионаправленность нуклеофильного присоединения по второму атому углерода определяется электроноакцепторными свойствами нитрогруппы. Методом колоночной хроматографии на силикагеле были выделены целевые структуры с выходом до 45%.



Ar = Ph (**1**, **4**), 4-MeC_6H_4 (**2**, **5**), 4-$OMeC_6H_4$ (**3**, **6**)

Строение синтезированных аддуктов **4–6** доказано методами спектроскопии ИК, ЯМР ^{1}H, ^{13}C с привлечением гомо- и гетероядерных экспериментов (^{1}H-^{1}H COSY, ^{1}H-^{13}C HMQC, ^{1}H-^{13}C HMBC).

Таким образом, показано, что использование катализатора Родионова в реакции 1-арил-3-нитропроп-2-ен-1-онов с пентан-2,4-дионом позволяет получить аддукты Михаэля в мягких условиях и с хорошими выходами.

Список литературы

1. *Несмеянов А.Н., Рыбинская М.И., Рыбин Л.В.* // Изв. АН. СССР. Сер. Хим. 1965. № 8. С. 1382. DOI: 10.1007/BF00846190
2. *Manickam G., Sundararajan G.* // Tetrahedron: Asymmetry. 1997. Vol. 8. N 13. P. 2271. DOI: 10.1016/S0957-4166(97)00234-6
3. *Адюков И.С., Полехова Ю.О., Пелипко В.В., Макаренко С.В.* // Сборник тезисов научной конференции "Марковниковские чтения. Органическая химия: от Марковникова до наших дней" (WSOC-2024). Пансионат МГУ Красновидово. 19-22 января 2024. С. 19.

РЕАКЦИИ ОКСИМОВ И ДИАЗОСОЕДИНЕНИЙ В СИНТЕЗЕ НИТРОНОВ И ИХ ПРЕВРАЩЕНИЕ В ПИРРОЛО[1,2-*c*]ХИНАЗОЛИНЫ

Сенченков А.Р.*, *Антонычев Г.И.*, *Титов Г.Д.*, *Ростовский Н.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

st128561@student.spbu.ru

Нитроны представляют собой важный класс органических соединений, используемых для получения биологически значимых веществ, например, азотсодержащих гетероциклов [1]. В литературе известны методы получения нитронов из нитрозо- и диазосоединений [2], но синтез из оксимов ранее не был описан. Данная работа посвящена Rh(II)-катализируемому синтезу нитронов **3** из диазосоединений **2** и оксимов **1**. Был разработан следующий метод (Рис. 1):

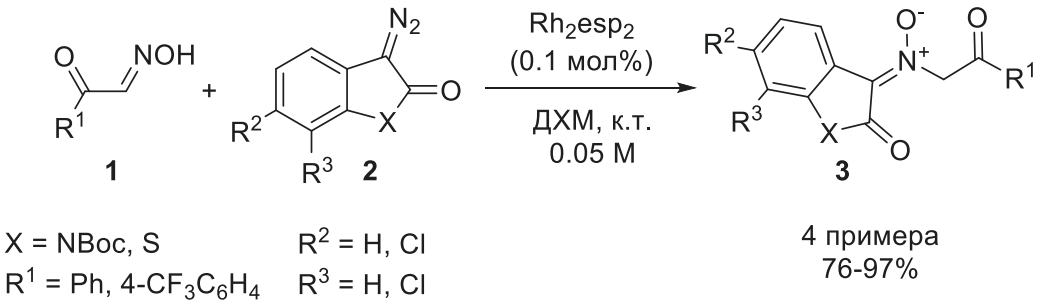


Рис. 1. Синтез нитронов

При реакции нитрона **3a** с ДМАД образуется производное пирроло[1,2-*c*]хиназолина **4a** (Рис. 2). Подобные производные могут быть использованы как основа для лекарственных препаратов, например, обладающих антигипертензивными свойствами [3]. На текущем этапе работы выполнен синтез ряда исходных алкинов, которые будут апробированы в данном превращении. Детали работы будут освещены в рамках доклада.

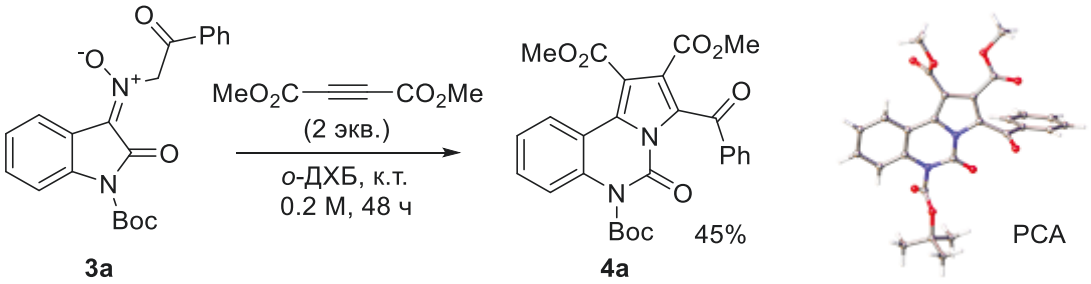


Рис. 2. Синтез пирроло[1,2-*c*]хиназолина

Список литературы

1. *Murahashi S.-I., Imada Y.* // Chem. Rev. 2019. Vol. 119. N 7. P 4684. DOI: 10.1021/acs.chemrev.8b00476
2. *Pagar V.V., Liu R.-S.* // Angew. Chem. Int. Ed. 2015. Vol. 54. N 16. P. 4923. DOI: 10.1002/anie.201500340
3. V.T. Bandurco, E.M. Wong, S.D. Levine, Z.G. Hajos // J. Med. Chem. 1981. Vol. 24. N 12. P. 1455. DOI: 10.1021/jm00144a017

БАКТЕРИЦИДНЫЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА И ПОЛИГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИН ГИДРОХЛОРИДА

Синицына Т. М., ***Апрятина К. В., Смирнова О.Н.***

ННГУ имени Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

E-mail: ts9307040006@gmail.com

Сегодня активно ведутся исследования по разработке биосовместимых антимикробных композиций как основы защитных покрытий для поверхностей, специализированных наполнителей, антисептиков и пищевой упаковки. В этом направлении интерес ученых привлекают эффективный бактерицидный агент — полигексаметиленгуанидина гидрохлорид (ПГМГ-ГХ) [1] и крахмал - распространенный биоразлагаемый полисахарид [2].

Цель работы – синтез бактерицидных композиций на основе ПГМГ-ГХ, крахмала и наночастиц (НЧ) оксида цинка, получение плёнок на их основе и изучение их физико-химических характеристик.

Получали растворы композиций, смешивая ПГМГ-ГХ с желатинизированным крахмалом в различных соотношениях. Для расширения спектра биоцидного действия состава в него вводили НЧ оксида цинка, которые предварительно синтезировали золь-гель методом [3]. Растворы подвергали ультразвуковому воздействию (22 кГц) для обеспечения равномерного распределения всех компонентов, далее композиции модифицировали сшивающими агентами (формальдегид, глицедилметакрилат) и вводили пластификатор глицерин, после чего на их основе получали пленки методом полива. Максимальная прочность на разрыв у пленок состава ПГМГ-ГХ:крахмал:НЧ-ZnO – 2:1:0.17 по массе составила 3 МПа при относительном удлинении – 6%. Методом рентгено-фазового анализа показано, что НЧ оксида цинка, по-видимому, имеют аморфную структуру. Средний размер НЧ оксида цинка в плёнках по результатам сканирующей электронной микроскопии составил от 200 до 300 нм; по результатам динамического светорассеяния в растворах – от 0.1 до 10 нм. Установлена выраженная бактерицидная активность пленок на основе композиции ПГМГ-ГХ:крахмал:НЧ-ZnO в отношении патогенных бактерий: *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus aureus*.

Разработка композиций на основе ПГМГ-ГХ-крахмал-НЧ оксида цинка открывает широкие перспективы для создания экологически чистых материалов, предназначенных для использования в различных отраслях, включая пищевую промышленность, сельское хозяйство и медицину.

Список литературы

1. *Babaahmadi M., Yeganeh H.* // Polymers Adv. Technol. 2023. Vol. 34. N 10. P. 3236. DOI: 10.1002/pat.6146
2. *Alcázar-Alay S.C., Meireles M.A.* // Food Sci. Technol. 2015. Vol 35. N 2. P. 215. DOI: 10.1590/1678-457X.6749
3. *Zhou X.-Q., Hayat Z., Zhang D.-D., Li M.-Y., Hu S., Wu Q., Cao Y.-F., Yuan Y.* // Processes. 2023. Vol. 11. N 4. Art. № 11932023. DOI: 10.3390/pr11041193

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АЗОПРОИЗВОДНЫХ ЦИАНУКСУСНОГО ЭФИРА

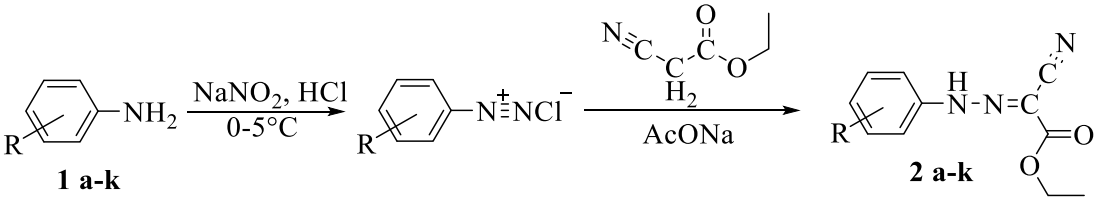
Сонин Н.О.*, *Егоров Д.М.

СПБГТИ(ТУ), Санкт-Петербург

osonin14@gmail.com

Одной из важнейших проблем в области здравоохранения по мнению ВОЗ является рост резистентности бактерий к существующим препаратам. Этот факт создает угрозу неконтролируемого роста бактериальных инфекций способных нанести серьезный вред организму человека вплоть до летального. Поиск новых антимикробных препаратов остается важной задачей в современном мире.

Полифункциональные соединения часто проявляют биологическую активность в отношении различных видов активности, в том числе антимикробную. Ранее нами был получен ряд азосоединений обладающих выраженной антистафилококковой активностью. В продолжении систематических исследований в этой области нами был получен ряд азопроизводных цианусусного эфира **2 a-k**. Строение полученных соединений охарактеризовано данными ЯМР-спектроскопии на ядрах ^{1}H, ^{13}C. Антимикробная активность полученных соединений была изучена на следующих штаммах: *Staphylococcus aureus* ATCC6538; *Pseudomonas aeruginosa* 0387; *Candida utilis* ЛИА-01.



R = H (**a**), 4-Cl (**b**), 2-NO_2 (**c**), 3-Cl (**d**), 3-OCH_3 (**e**), 4-CH_3 (**f**), 2-iPr (**g**), 4-NO_2 (**h**), 4-OCH_3 (**i**), 2-$COOCH_3$ (**j**), 2-OCH_3 (**k**).

Для соединений **2b**, **2d**, **2h** выявлены антибактериальная активность в отношении $Г^{+}$ бактерии штамма *Staphylococcus aureus* ATCC6538, зоны подавления роста тест-штамма достигали от 12 до 22 мм и противогрибковая активность в отношении дрожжеподобного штамма *Candida utilis* ЛИА-01 (зоны задержки роста составляли от 12 до 21 мм).

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSEN-2026-0003).

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ 4,6-ДИОКСИ-2-МЕТИЛПИРИМИДИНА

***Сосновенко К.И.*, Колчин Д.В., Путис С.М.**

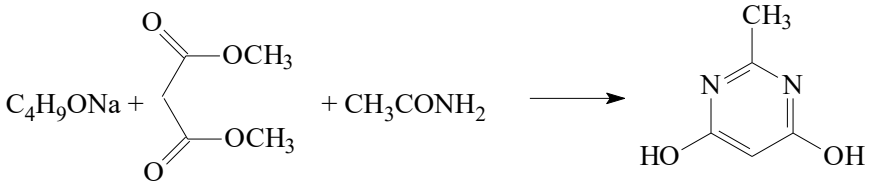
ФГУП «СКТБ «Технолог», Санкт-Петербург

Sergey_mi79@mail.ru

4,6-Диокси-2-метилпиримидин (ДОМП) – биологически активный субстрат, находящий применение в фармацевтической промышленности. Это соединение и его производные являются основными компонентами для лечения воспаления, гипертонии, тревожности и т.д. Производные ДОМП обладают мощными эффектами ингибирования активности АСАТ и снижения уровня холестерина в сыворотке крови, а также чрезвычайно полезны для лечения и (или) профилактики атеросклероза или гиперлипидемии [1, 2].

К настоящему времени разработаны несколько методов получения ДОМП, основанные на использовании производных малоновой кислоты [3]. Однако, к недостаткам данных методов следует отнести то, что в каждом из них используется большое количество импортного сырья.

Нами разработан метод синтеза, позволяющий минимизировать использование импортного сырья (используется только эфир малоновой кислоты), в среде бутанола с применением бутилата натрия (полученного *in-situ* из бутанола и гидроксида натрия).



Выход ДОМП составляет около 60 %. Бутанол, используемый при получении ДОМП, может повторно использоваться в синтезе без дополнительной очистки. Строение, чистота и подлинность ДОМП охарактеризовано данными физико-химических методов ИК, УФ и ЯМР (^{1}H, ^{13}C) спектроскопии, ТСХ и ВЭЖХ.

Список литературы

1. *Becker I.* // J. Heterocyclic Chem. 2005. Vol. 42. N 7. P. 1289. DOI: 10.1002/jhet.5570420707Digital Object Identifier (DOI)
2. *Patil R.S., Jadhav P.M., Radhakrishnan S., Soman T.* // Org. Chem. Indian J., 2008. Vol. 4. N 12. P. 527.
3. *Голубкова Ю.М., Карпычева Ю.С., Кондюков И.З., Карпычев Ю.В.* // Тезисы докл. Всероссийской научно-технической конференции, посвященная 90-летию Инженерного химико-технологического факультета РХТУ им. Д.И. Менделеева, 120-летию профессора К.К. Андреева, 130-летию профессора А.С. Бакаева «Успехи в специальной химии и химической технологии». М.: РХТУ им. Менделеева, 24-25 апреля 2025 года. С. 70.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФУРАНСОДЕРЖАЩИХ *ГЕМ*-БРОМНИТРОЭТЕНОВ С ГИДРАЗИДАМИ АРОМАТИЧЕСКИХ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

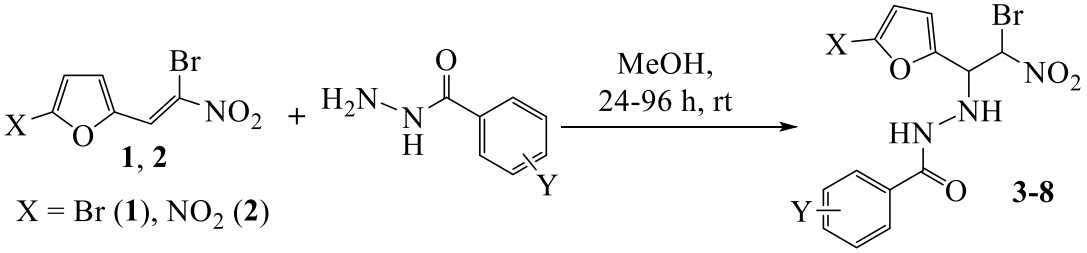
Таран Е.В.*, *Озерова О.Ю.*, *Макаренко С.В.

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

kohrgpu@yandex.ru

Интерес к химии фурансодержащих *гем*-бромнитроэтенов связан с их биологической активностью. Так, 1-бром-1-нитро-2-(5-бромфурил-2)этен **1**, применяемый в качестве антибиотика, имеет торговое название Furvina® [1]. Электронодефецитная система *гем*-бромнитроэтенов обуславливает их высокую активность в реакциях с нуклеофилами различной природы, что позволяет получать производные с фармакофорным фурановым фрагментом.

Ранее на кафедре органической химии РГПУ им. А.И. Герцена была показана возможность присоединения гидразида бензойной кислоты к фурансодержащим *гем*-бромнитроэтенам [2]. Продолжая и развивая это направление нами изучены реакции 1-бром-1-нитро-2-(5-бром(нитро)фурил-2)этен **1**, **2** с более широким рядом *N*-нуклеофилов данного класса соединений – гидразидами бензойной, *п*-бромбензойной и *м*-хлорбензойной кислот.



X = Br (**1**), NO_2 (**2**)

X = Br: Y = H (**3**), *p*-Br (**5**), *m*-Cl (**7**);
X = NO_2: Y = H (**4**), *p*-Br (**6**), *m*-Cl (**8**)

Реакции осуществлялись в мягких условиях – в среде безводного метанола при комнатной температуре и завершались образованием продуктов нуклеофильного присоединения – *аза*-аддуктов Михаэля **3-8** (с хорошими выходами), представляющие собой твердые вещества.

Строение соединений **3-8** подтверждено данными ЯМР ^{1}H, ^{13}C спектроскопии.

Список литературы

1. *Fabbretti A., Brandi L., Petrelli D., Pon C.L., Castañedo N.R., Medina R., Gualerzi C.O.* // Nucleic Acid Research. 2012 Vol. 40. N. 20. P. 10366. DOI: 10.1093/nar/gks822
2. *Зубовская О.А., Елисеенко С.С., Макаренко С.В., Трухин Е.В.* // Сб. мат-лов III Всеросс. студ. конф. с междунар. уч. «Химия и химическое образование XXI века», посвященной 140-летию со дня рождения химика органика Ю.С. Залькинда. СПб: Астерион. 14-17 апреля 2015. С. 32.

ФОТОПЕРЕКЛЮЧАЕМЫЕ ТЕРАНОСТИКИ НА ОСНОВЕ БЕНЗОКСИМОВ ПРИРОДНЫХ ХЛОРИНОВ

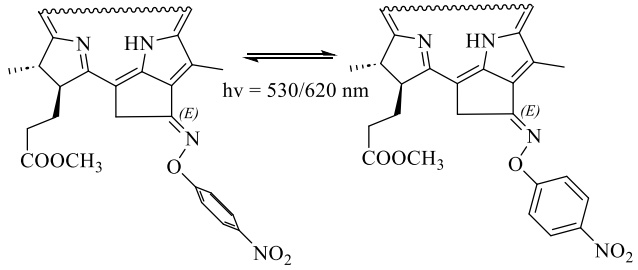
Тихонов С.И.*, Жамбеева И.М., Кароткевич Е.И., Лифаренко А.С., Мартынов Л.Ю., Грин М.А.

МИРЭА – Российский Технологический Университет, Москва, 119454 Россия

deviantprince13th@gmail.com

Фотопереключаемые фотосенсибилизаторы (ФС) могут стать основой для новых тераностических агентов. В зависимости от типа и механизма фотопереключения можно менять различные свойства молекулы ФС, такие как квантовый выход флуоресценции и квантовый выход генерации синглетного кислорода. Используя такой подход можно использовать один фотосенсибилизатор как для терапии, так и для диагностики.

Нами разработан метод синтеза изомеров бензоксимов природных хлоринов с использованием межфазного катализатора – третбутиламоний бромида. Данный подход позволил получить целевые соединения с хорошим выходом и низким количеством побочных продуктов.



При изучении фотофизических свойств полученных соединений было выявлено, что E-изомеры, полученные с и без использования третбутиламоний бромида отличаются и являются оптическими изомерами.

Строение полученных соединений охарактеризовано данными физико-химических методов ИК, UV/VIS, КД, и ЯМР ^{1}H, ^{13}C, ^{1}H^{1}H-NOESY спектроскопии, а также масс-спектрометрии высокого разрешения. Методами квантово-химических расчетов были найдены две полосы фотопереключения 530 и 620 нм. Время жизни продуктов фотоизомеризации составляло от 60 до 180 секунд, затем наблюдался процесс релаксации в результате, которого образовывались, как новые, так и исходные устойчивые формы молекулы ФС. Согласно данным ИК и ЯМР ^{1}H спектроскопии после облучения в полосу фотопереключения, а также после релаксации, E/Z-изомеризации относительно связи C=N не наблюдалось, как и не наблюдалось других структурных изменений, таких как полимеризация, восстановление оксимной группы или же расщепления связей в оксимном фрагменте.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП РТУ МИРЭА при поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения №075-15-2025-548 от 18.06.2025 г.

РАЗРАБОТКА ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ИНГИБИТОРОВ ГИСТАМИНОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ И ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ИХ СВЯЗЫВАНИЯ В КЛЕТОЧНЫХ СИСТЕМАХ

***Уланова Е.С.*, Тихонов С.И., Грин М.А.**

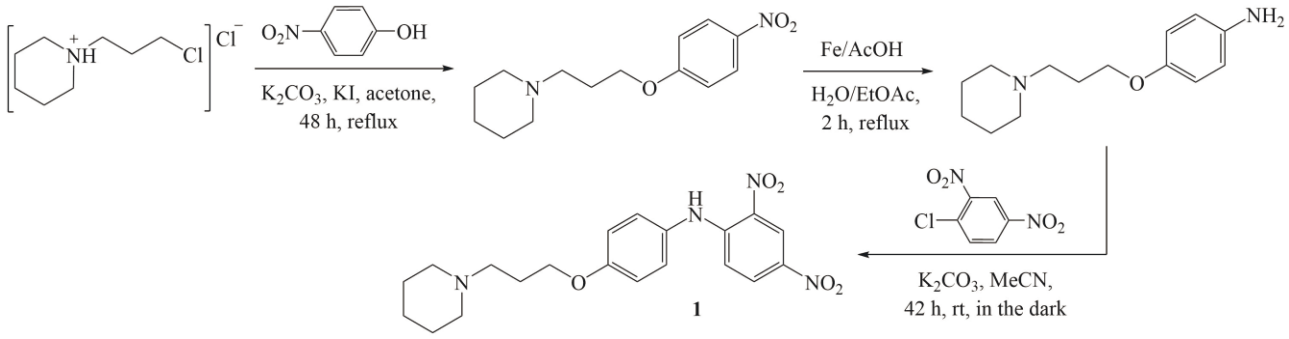
РТУ МИРЭА, г. Москва

eulanova2003@gmail.com

Участие гистаминергической системы в иммунной регуляции и формировании микроокружения злокачественных новообразований позволяет рассматривать рецепторы H1–H4 в качестве молекулярных мишеней для разработки противоопухолевых препаратов. Одной из ключевых проблем остаётся недостаточная селективность лигандов относительно подтипов HR.

В результате молекулярного докинга производных карбоновых кислот и аминов с L-гистидином/L-лейцином и их метиловыми эфирами было отобрано три лидерных соединения на основе показателей связывания и частоты попадания в активный сайт. Для лигандов разработаны методики синтеза с подбором оптимальных активирующих агентов.

Для перехода к биологическим исследованиям был выбран флуоресцентный подход как метод оценки связывания полученных соединений с мишенями в живых системах. Исследование спектральных свойств молекул показало наличие стабильной флуоресценции. Отдельно синтезирована одна из флуоресцентных меток **1**, предназначенная для изучения конкурентного связывания.



Биологическая оценка планируется на основе клеток CHO-K1 со стабильной экспрессией HR [1]. Вытеснение флуоресцентной метки исследуемыми ингибиторами будет регистрироваться по сдвигу максимума эмиссии, что позволит перейти к количественной оценке взаимодействия и сравнительному анализу селективности между подтипами HR.

Список литературы

1. *Amon M., Ligneau X., Camelin J.-C., Berrebi-Bertrand I., Schwartz J.-C., Stark H.* // ChemMedChem. 2007. Vol. 2. N 5. P. 708. DOI: 10.1002/cmdc.200600270

СИНТЕЗ НОВЫХ 1,3,5-ТРИАРИЛ-2-ПИРАЗОЛИНОВ С ГАЛОГЕНЦИКЛОПРОПИЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ

***Frantov D.I.*[1,2], *Минеева И.В.*[1,2]**

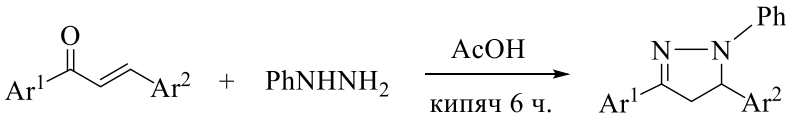
[1]*БГУ, Минск, Республика Беларусь*

[2]*НИИ ФХП БГУ, Минск, Республика Беларусь*

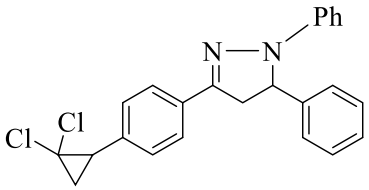
dima.frantow@gmail.com

Уникальная структура 1,3,5-триарил-2-пиразолинов обусловливает их разнообразное применение в качестве люминофоров голубого и зеленого свечения, оптических отбеливателей тканей и бумаги, флуоресцентных красителей, флуоресцентных зондов и меток на биомолекулы и катионы металлов, химических фотоинициаторов и фотосенсибилизаторов, рабочего вещества органических сцинтилляторов [1]. Было также показано, что 1,3,5-триарил-2-пиразолины обладают антибактериальными, противоопухолевыми, противосудорожными, антидепрессантными свойствами [2].

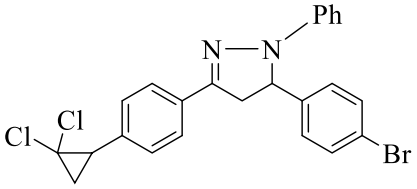
Взаимодействием халконов с фенилгидразином в среде кипящей уксусной кислоты нами была получена серия новых 1,3,5-триарил-2-пиразолинов **1a-f** с галогенциклопропильными фрагментами в бензольном кольце.



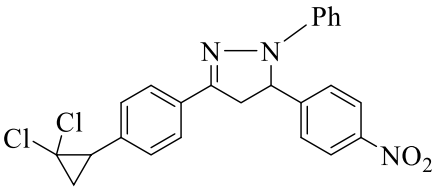
1a-f, 36-77%



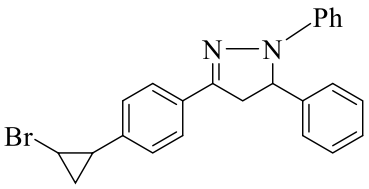
1a, 74%



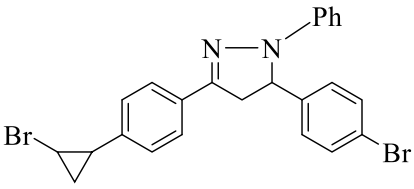
1b, 70%



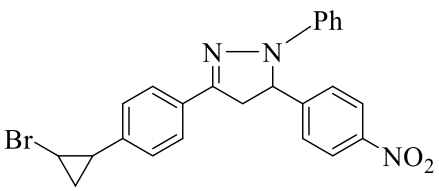
1c, 77%



1d, 36%



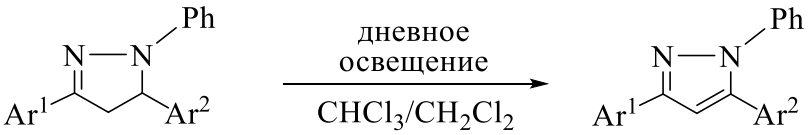
1e, 62%



1f, 40%

Пиразолины с монобромциклопропильными фрагментами **1d-f** были получены с заметно более низкими выходами по сравнению с аналогичными пиразолинами **1a-c**, содержащими *гем*-дихлорциклопропильный фрагмент. По всей видимости, это было связано с побочно протекающими процессами нуклеофильного замещения в циклопропановом кольце, а также его раскрытия.

Все полученные соединения обладали яркой флуоресценцией в разбавленных растворах, однако в хлорированных растворителях постепенно подвергались нежелательному фотоокислению под действием солнечного, либо искусственного света в соответствующие ароматические 1,3,5-триарилпиразолы.



Последующий анализ потенциальной фармакологической активности полученных пиразолинов **1a-f** проводился с использованием *in silico* расчетов на платформе PassOnline (таблица 1).

Таблица 1. Результаты *in silico* прогноза потенциальной биологической активности

Соединение	P_a	P_i	Активность
1a	0.972	0.000	Стимулятор липопротеинлипазы
1b	0.962	0.000	Стимулятор липопротеинлипазы
1c	0.956	0.001	Стимулятор липопротеинлипазы
1d	0.668	0.029	Ингибитор 5-O-(4-кумароил)-D-хинат 3’-монооксигеназы
1e	0.505	0.029	Усилитель экспрессии гена *HMGCS2*
1f	0.528	0.004	Антагонист рецептора 5-HT_{1E}

P_a – вероятность быть активным, P_i – вероятность быть неактивным.

Результаты прогноза свидетельствуют о том, что 1,3,5-триарил-2-пиразолины **1a-c**, содержащие *гем*-дихлорциклопропильный фрагмент, с высокой долей вероятности стимулируют фермент липопротеинлипазу, который расщепляет триглицериды внутри липопротеиновых частиц крови на свободные жирные кислоты и глицерин [3]. Полученные результаты указывают, что данные гибридные гетероциклические соединения необходимо подвергнуть дальнейшему изучению с целью разработки потенциальных препаратов для лечения и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и нарушений липидного обмена.

Список литературы

1. *Varghese B., Al-Busafi S.N., Suliman F.E.O., Al-Kindy S.M.Z.* // RSC Adv. 2017. Vol. 7. N 74. P. 46999.
2. *Anam F., Abbas A., Lo K.M., Zia-ur-Rehman, Hameed S., Naseer M.M.* // New J. Chem. 2014. Vol. 38. N 11. P. 5617. DOI: 10.1039/C4NJ00938J
3. *Perera S.D., Wang J., McIntyre A.D., Hegele R.A.* // Genes. 2025. Vol. 16. N 1. Art. № 55. DOI: 10.3390/genes16010055

Работа выполнена при финансовой поддержке НИР ГПНИ «Новые полифункциональные 3-гидрокси-2-оксоиндолы и гетероциклические соединения на их основе с высоким потенциалом биологической активности для создания прототипов лекарственных средств» 2026-2030 гг. и проекта БРФФИ (№ гос. регистрации 0250778).

IN SILICO ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 1,3-β-D-ГЛЮКАНОВ С БЕЛКОМ ВРОЖДЕННОГО ИММУНИТЕТА – ДЕКТИНОМ-1

Халеев В.С.*, *Лютова Ж.Б.

СПбГТИ(ТУ), Санкт-Петербург

khaleevzchemistry@gmail.com

β-глюканы представляют собой класс гомополимеров глюкозы, связанных гликозидными связями β-1,3, β-1,4 или β-1,6 или их комбинациями, которые обладают структурозависимыми биологическими активностями [1]. Наибольший интерес в этом отношении представляют β-(1→3,1→6)-глюкан, способные активировать рецепторы врождённого иммунитета, такие как дектин-1. Активация этого рецептора запускает сигнальный каскад иммунных реакций, что делает β-глюканы перспективными агентами для иммунотерапии [2].

Несмотря на наличие экспериментальных данных, до сих пор неясно, каким образом конкретные структурные особенности β-(1→3,1→6)-глюкана влияют на его взаимодействие с мишенями врожденного иммунитета, что ограничивает возможность дизайна глюкан-содержащих препаратов с заданной иммунологической активностью. Целью данной работы являлась in silico оценка влияния длины цепи и числа ветвлений на взаимодействие β-(1→3,1→6)-глюканов с дектином-1 методами молекулярного докинга.

Для проведения первичного вычислительного эксперимента использовали модель β-(1→3,1→6)-глюкана, содержащую пять остатков глюкозы и одно β-(1→6)-ветвление. Трехмерные модели олигосахаридов с заданной длиной и топологией были построены с использованием онлайн-ресурса **Glycam Web Builder**.

Проведенный анализ модели β-(1→3,1→6)-глюкана с помощью онлайн-сервиса **PASS Online** предсказал высокую вероятность проявления ряда биологически значимых эффектов. Среди них наиболее выраженными оказались антиоксидантная, иммуномодулирующая, противоопухолевая и метаболическая активность. Результаты пре-скрининга с помощью PASS Online подтверждают, что модель β-(1→3,1→6)-глюкана обладает выраженным биологическим потенциалом и может взаимодействовать с рецепторами врождённого иммунитета.

Далее была проведена процедура молекулярного докинга дектина-1 и глюканов с различной длиной цепи и различным числом ветвлений (5 звеньев и 1 ветвление; 10 звеньев; 10 звеньев и 2 ветвления; 12 звеньев и 3 ветвления; 14 звеньев и 4 ветвления). **Дектин-1** (PDB ID: 2CL8) имеет один сайт связывания, включающий 10 аминокислотных остатков. Данный карман находится в области **С-терминального лектинового домена**. Расположение сайта связывания P_1 было выбрано со следующими декартовыми координатами: 19.024 Å (ось x), 10.534 Å (ось y), -2.012 Å (ось z). В

исследовании использовались стыковочные сетки трехмерного размера 40 × 40 × 40 Å. Для визуализации результатов молекулярного докинга использовалось программное обеспечение PyMOL.

Проведенное in silico исследование позволило установить четкую зависимость между структурой β-(1→3,1→6)-глюкана и его способностью к эффективному связыванию с рецептором врождённого иммунитета дектином-1. Показано, что наиболее прочное связывание и полное стерическое соответствие активному сайту белка (**Trp221, His223, Asn185**) демонстрирует олигомер длиной в 10 звеньев с двумя боковыми ответвлениями (ΔG = –9.44 ккал/моль). Данный результат хорошо согласуется с известными литературными данными о минимальной эффективной длине β-(1→3,1→6)-глюкана для дектина-1.

Таким образом, использование вычислительных методов, продемонстрировавших высокую предсказательную способность, является мощным инструментом для построения и оптимизации структур β-глюканов с целью последующего, что существенно ускоряет процесс разработки лекарственных средств на их основе.

Список литературы

1. *Han B., Baruah K., Cox E., Vanrompay D., Bossier P.* // Front. Immunol. 2020. Vol. 11. Art. № 658. DOI: 10.3389/fimmu.2020.00658
2. *Mata-Martínez P., Bergón-Gutiérrez M., Del Fresno C.* // Front. Immunol. 2022. Vol. 13. Art. № 812148. DOI: 10.3389/fimmu.2022.812148

N'-(2-ОКСОИНДОЛИН-3-ИЛИДЕН)-2-ПИРРОЛИДОН-5-КАРБОГИДРАЗИДЫ: СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ

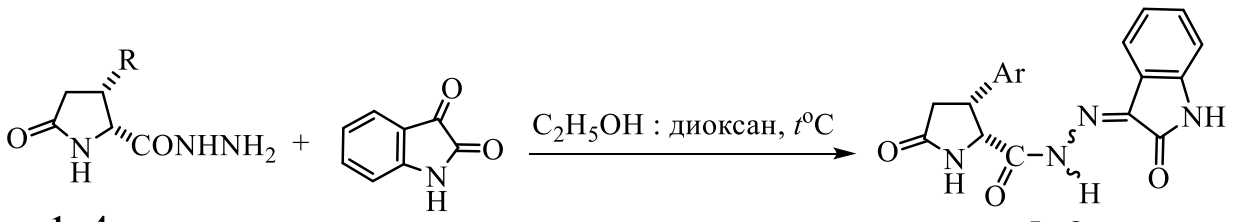
Хамидов Т.А., Остроглядов Е.С., Васильева О.С.

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

kohrgpu@yandex.ru

Реакции гет(арил)замещённых 2-пирролидон-3(4,5)-карбогидразидов с карбонильными соединениями – это перспективное направление в целенаправленном синтезе производных 2-пирролидона, содержащих в структуре молекул пиразольный, пиррольный или оксадиазольный гетероциклы. Изучение реакций, замещённых 2-пирролидон-5-карбогидразидов с представителем циклических карбонильных соединений изатином представляет несомненный интерес, так как открывает путь к синтезу новых производных 2-пирролидона, содержащих в своём составе фармакофорные лактамный, 2-оксоиндольный гетероциклы и арильные заместители.

Нами изучено взаимодействие диастереооднородных (*4R*,5R**)-4-гет(арил)-2-пирролидон-5-карбогидразидов (**1-4**) с изатином. Найдены оптимальные условия их проведения: кипячение реакционной массы, состоящей из эквимольных количеств соответствующего карбогидразида и изатина в смеси растворителей этанол : диоксан (1 : 1) в течение 4 часов. В результате с выходами (65 - 78%) образуются (*4R*,5R**)-N'-(2-оксоиндолин-3-илиден)-2-пирролидон-5-карбогидразиды (**5-8**). Исходные 2-пирролидон-5-карбогидразиды легко получаются по известной методике [1].



1 - 4 **5 - 8**

R = 3-нитрофенил (**1,5**), 4-нитрофенил (**2,6**), 4-диметиламинофенил (**3,7**), пиридил-3 (**4,8**).

Карбогидразиды (**5-8**) это окрашенные кристаллические вещества с чёткими температурами плавления. Их строение подтверждено данными физико-химических методов исследования (ИК, ЯМР ^{1}H, ^{13}C{^{1}H}, ^{1}H–^{13}C HMQC, ^{1}H–^{13}C HMBC). Установлено, что в растворе ДМСО-d_6 соединения (**5-8**) существуют в виде смесей *Z*- и *E*-конформеров (относительно связи C(O)-NH). Протоны при атомах C^4 и C^5 лактама в молекулах соединений (**5-8**) имеют *цис*-расположение относительно плоскости пирролидонового цикла, что соответствует (*4R*,5R**)-конфигурации хиральных центров молекул.

Список литературы

1. *Васильева О.С., Берестовицкая В.М., Тюренков И.Н., Остроглядов Е.С., Перфилова В.Н., Городничева Н.В., Яремчук А.И.* // Изв. АН. Сер. Хим. 2017. № 8. С. 1491. DOI: 10.1007/s11172-017-1913-6

СИНТЕЗ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ *B*-ИМИДАЗОЛИЛПОРФИРИНОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ФОТООКИСЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СУЛЬФИДОВ

***Хомяков Т.Д.*[1], Поливановская Д.А.[2], Бирин К.П.[1,2], Цивадзе А.Ю.[2]**

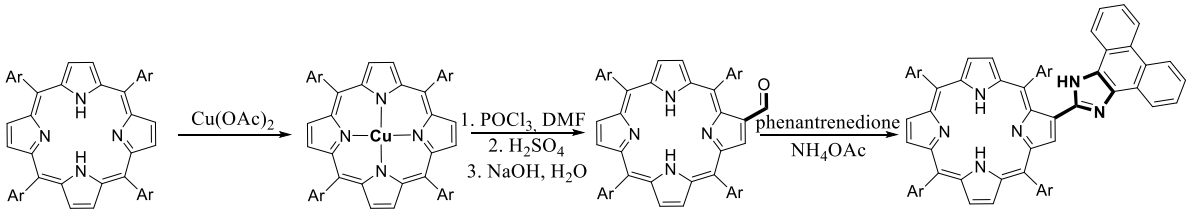
[1] *РТУ МИРЭА, Москва*

[2]*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Москва*

t.khomiakov@yandex.ru

Благодаря способности к генерации активных форм кислорода под действием фотоизлучения порфирины и их производные находят применение в различных областях химии, в том числе, фотокаталитическом окислении различных органических субстратов. Возможность модификации периферии данных макрогетероциклов, например, путем введения функциональных фрагментов позволяет гибко настроивать физико-химические свойства получаемых фотосенсибилизаторов [1, 2].

В настоящем исследовании был получен набор новых тетраарилпорфиринов, содержащих в β-положении фенантроимидазолильный фрагмент (Схема 1). полученные β-имидазолилпорфирины **2H-3(a-c)** были выделены в индивидуальном виде и полностью охарактеризованы методами физико-химического анализа.



2H-1a
2H-1b
2H-1c
Ar = C_6H_4OBu (a), C_6H_4COOBu (b), Mes (c)

Cu-1a (92%)
Cu-1b (75%)
Cu-1c (81%)

2H-2a (65%)
2H-2b (69%)
2H-2c (63%)

2H-3a (67%)
2H-3b (70%)
2H-3c (77%)

Схема 1.
Синтез новых β-имидазолил-замещенных тетраарилпорфиринов

Полученные фотосенсибилизаторы показали высокую фотокаталитическую активность в реакции окисления органических сульфидов до сульфоксидов. Так, при облучении синим светом (λ = 410-510 нм, 5 Вт) полная конверсия тиоанизола до соответствующего сульфоксида достигалась при использовании всего 0.0004-0.0005 мол% катализатора с селективностью

99% (Схема 2). Более того, **2H-3(a-c)** показали крайне высокую фотостабильность: при облучении синим светом в течении 5 часов фотообесцвечивания растворов порфиринов практически не наблюдалась.

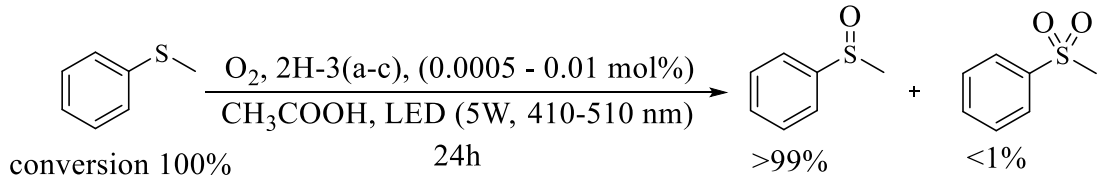


Схема 2. Окисление тиоанизола в присутствии *β*-имидазолилпорфиринов в качестве фотокатализатора

Список литературы

1. *Polivanovskaia D.A., Abdulaeva I.A., Birin K.P., Gorbunova Yu.G., Tsivadze A.Yu.* // J Catal. 2022. Vol. 413. P. 342. DOI: 10.1016/j.jcat.2022.06.046
2. *Shremzer E.S., Polivanovskaia D.A., Birin K.P., Tsivadze A.Yu.* // J Catal. 2025. Vol. 450. Art. № 116327. DOI: 10.1016/j.jcat.2025.116327

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

НОВЫЕ ДЕЙТЕРИРОВАННЫЕ МОНОАЗОСОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ДИДЕЙТЕРОМЕТИЛЬНУЮ ГРУППУ

***Хромова М.И.*, Кузнецов Д.Н., Писарев Д.И., Бабкин И.Ю.**

РГУ им. А. Н. Косыгина, Москва

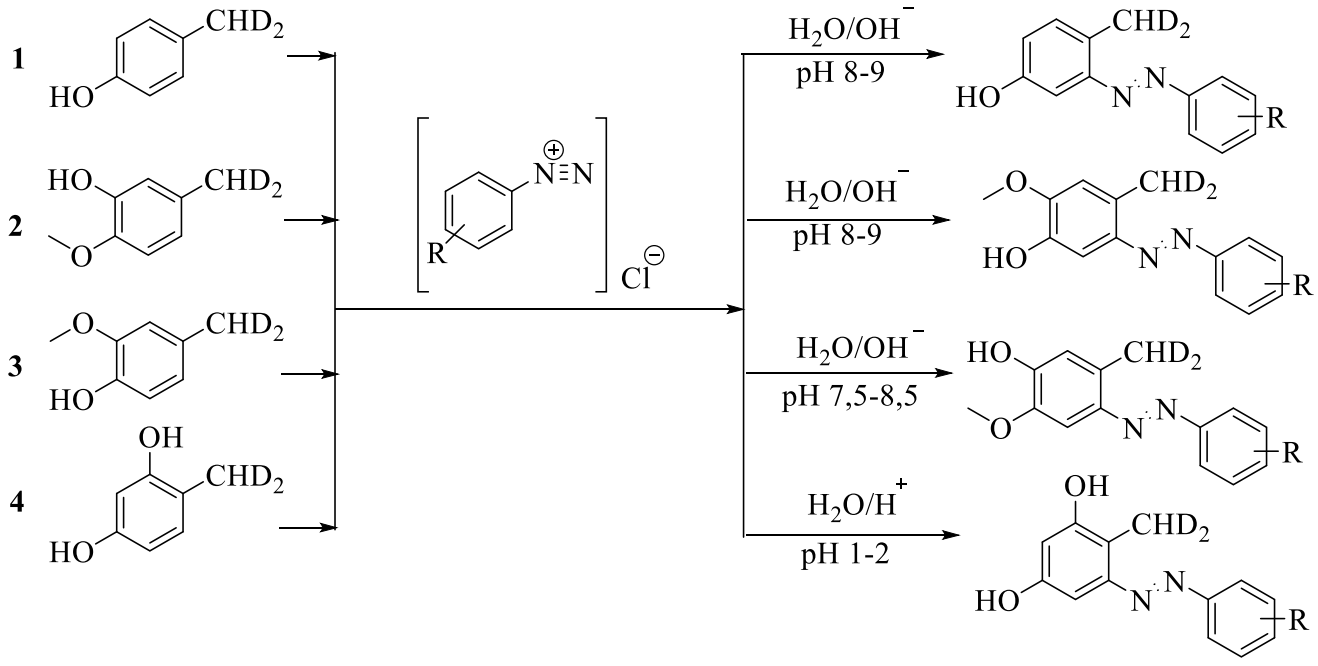
Kichigina03@rambler.ru

Азокрасители – достаточно разнообразный и многочисленный класс синтетических красителей. Исходя из этого азокрасители находят широкое применение в разных отраслях промышленности. Довольно часто они используются в текстильной промышленности для окрашивания тканей различного состава, кожевенной и полиграфической отраслях.

Работы, проводимые на кафедре органической химии РГУ им. А.Н. Косыгина показывают, что продукты химической трансформации нитросодержащих взрывчатых веществ, например такие как 2,4,6-тригидрокситолуол и 2-нитрорезорцин малоизучены и показывают себя в качестве высокореакционноспособных соединений в получении моно- и бисазосоединений, обладающих достаточно высокими эксплуатационными, фунгицидными и хелатирующими свойствами [1-2].

В связи с этим изучение реакционной способности некоторых ароматических фенолов, содержащих дидейтерометильную группу в реакциях азосочетания является актуальным.

В ходе экспериментальных исследований были проведены реакции азосочетания с некоторыми солями арилдиазония, что привело к получению неописанных ранее моноазосоединений (рис. 1):



Где R=H, 4-CH_3, 4-NO_2

Рис. 1 Синтез целевых дейтерированных моноазосоединений

Учитывая структурные особенности молекул исходных дейтерофенолов, в ходе реакции азосочетания могут образовываться как моноазосоединения, так и бисазосоединения, либо их смеси. В ходе проведенных исследований выявлено, что молекула дейтерофенола **4** в реакциях азосочетания при различных pH приводит к получению преимущественно моноазосоединений.

Список литературы

1. *Кобраков К.И., Ушкаров В.И., Алафинов А.И., Станкевич Г.С., Шевелев С.А., Шахнес А.Х., Разумеев К.Э., Молоков В.Л.* Способ получения моно- и дисазокрасителей на основе метилфлороглюцина // Патент РФ №2415892. Заявлено 17.07.2008. Опубл. 10.04.2011.
2. *Алафинов А.И., Кобраков К.И., Кузнецов Д.Н., Дмитриева М.Б.* // Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 33. № 3. С. 93.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ МАТРИЦЫ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНОМ НА ЕГО СВОЙСТВА

Чекалина С.В., ***Кирш И.А., Альхаир А.Я., Тверитникова И.С.***

ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», Москва

sofya.chekalina@internet.ru

На сегодняшний день модификация полимерных материалов, с целью придания им новых свойств, является важной задачей. Модификация полимеров с каждым днем становится все более обширной, что позволяет создавать новые материалы, с востребованными характеристиками.

Целью исследование было - оценка свойств полиэтилена, модифицированного антимикробным агентом - дигидрокверцетином. В данной работе в качестве полимерной матрицы использовали полиэтилен низкой плотности (далее ПЭ) марки 158 от компании Сибур. Дигидрокверцетин (ДГК) использовали двух степеней очистки - 90% и 99%. В полимерные композиции добавка вводилась в количестве 1, 3 и 5%. В качестве контрольного образца был чистый полиэтилен низкой плотности.

Исследуемые образцы получали на лабораторном одношнековом экструдере в виде пленок. Температура переработки составила 190 ± 3^0C.

В проведении исследований были применены следующие методы:

1. Методы выявления патогенных микроорганизмов на основе полимеразной цепной реакции по ГОСТ 57989-2017;
2. Метод испытания на одноосное растяжение по ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2021);
3. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию по ГОСТ 25898-2020;
4. Жиростойкость по ГОСТ ISO 16532-2-2016;
5. Пикнометрический метод для определения плотности материалов по ГОСТ 15139-69;
6. Показатель текучести расплава (ПТР) определяли вискозиметрическим методом по ГОСТ 11645-2021 (ISO 1133-1:2011);
7. Определение краевого угла смачивания полимерных композиций по RU 2 025 710 C1, STB DIN 55660-2 2011-12.

Антимикробность полученных полимерных композиций проверяли диско-диффузионным методом на стойкость по отношению к Bacillus subtilis. Исходя из полученных данных можно заметить, что степень очистки значительно сказывается на бактериостатичности образцов. При степени очисти в 90% зона ингибирования отсутствует. Но при степени очистки добавки в 99% зона ингибирования достигает 3 мм, что указывает на значительное улучшение антимикробных свойств по сравнению с менее чистым аналогом [1].

В случае заражения среды Escherichia coli, из полученных результатов можно сделать вывод, что при повышении концентрации добавки зона

ингибирования увеличивается. Также играет роль степень очистки, в случае, когда она составляет 90% зона подавления составляет 3 мм, при степени очистки в 99% зона ингибирования увеличивается до 4 мм.

При проверке на паропроницаемость полимерных пленок было выявлено негативное влияние введение добавки. При увеличении концентрации добавки способность материалов к стойкости в отношение водяного пара снижаются с 7.07 г/м^2 до 2.9 г/м^2 за 24 ч.

При проведении исследования на жиростойкости можно отметить, что материалы, модифицированные добавкой, в сравнение с контрольным образцом (который являлся не жиростойким), стали обладать средней устойчивостью к жирам, что в свою очередь является положительным результатом.

Добавка ДГК (как 90%, так и 99% чистоты) введенная в полимерную матрицу повышает краевой угол смачивания до значений 85–88°. Причем более высокая степень очистки добавки (99%) способствует максимальному увеличению угла смачивания (до 88°).

Влияние количества концентрации добавки (1, 3, 5%) в ПЭ на краевой угол смачивания выражено незначительно, однако наблюдается тенденция к незначительному увеличению угла с ростом концентрации ДГК. Введение модификатора в полимерную матрицу является эффективным способом регулирования поверхностных свойств композитов, что может расширить область их применения.

В результате проведения реологических и физико-механических исследований можно отметить, что добавки ДГК разной частоты обеспечивают умеренное повышение текучести расплава полимерной композиции. Добавление ДГК к полиэтилену низкой плотности вызывает незначительное повышение плотности материалов. Степень очистки ДГК не оказывает существенного влияния на плотность материала. Введение ДГК в ПЭ, независимо от степени очистки, приводит к снижению прочности по сравнению с контрольным ПЭ, однако, можно заметить, что в композиции на основе ПЭ и ДГК (90% очистки) 5% увеличился показатель разрушающее напряжение в 1.7 раза по сравнению с контрольным образцом.

Таким образом, полимерный материал, модифицированный ДГК, обладает бактеристатическими свойствами по отношению к бактериям Bacillus subtilis и Escherichia coli, улучшаются барьерные свойства по отношению к жиростойкости, увеличивается краевой угол смачивания и прочность полимерной композиции при введении ДГК (90% очистки) 5%.

Список литературы

1. *Лебига Ю.А., Бутова С.Н., Борисенко Е.А.* // Сб. науч. тр. I междунар. науч.-практ. конф. «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста». М.: Московский государственный университет пищевых производств, 29-30 ноября 2018. С. 102.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НА МУЛЬТИТАРГЕТНУЮ БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ СТИРИЛФОСФОНАТОВ

Черкасова А.С. [1], ***Егорова А.В.*** [1,2], ***Фокин М.И.*** [2,3], ***Зарипова Ф.Ф.*** [3], ***Пилип А.Г.*** [4] , ***Бикбаева Г.И.*** [2] , ***Колесников И.Е.*** [2], ***Маньшина А.А.*** [2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия,* [2] *Санкт-Петербургский государственный университет,* [3] *Национальный исследовательский университет ИТМО*
[4] *Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,*
diekerze54@gmail.com

Ранее была описана высокая реакционная способность дихлорангидрид 2-хлор-2-фенилэтенилфосфоновой кислоты [1]. В продолжение исследований химии непредельных соединений фосфора, нами были изучены закономерности взаимодействия дихлорангидрида стирилфосфоновой кислоты с такими нуклеофилами, как алифатические спирты и вторичные алифатические амины с получением соответствующих симметричных фосфонатов **2a-f** и **3a-c** [2].

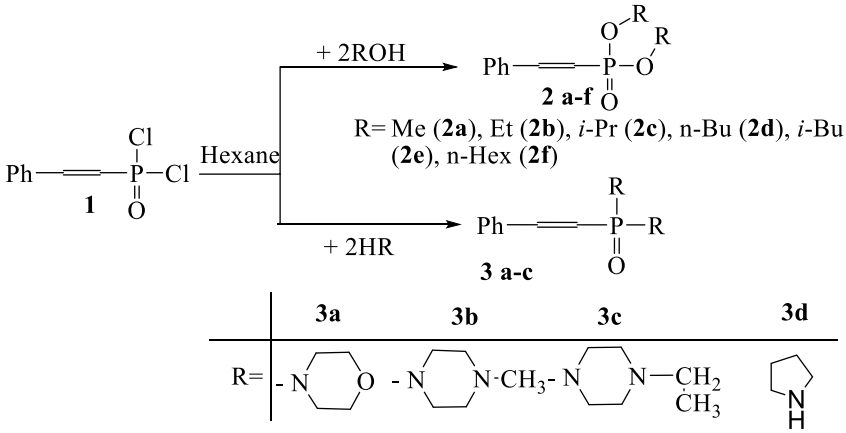


Схема 1. Схема синтеза стирилфосфонатов **2a-f** и амидофосфонатов **3a-c.**

Изучены их оптические свойства и показано, что лазерное воздействие приводит к уменьшению интенсивности спектра поглощения. Для выборочных соединений до и после лазерного воздействия проведены исследования по ингибированию фермента бутирилхолинэстеразы и исследована биологическая активность на бактериях *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*.

Список литературы

1. *Egorova A.V., Egorov D.M., Sonin N.O., Kolesnikov I.E., Pankin D.V., Manshina A.A., Baichurin R.I.* // Rus. J. Gen. Chem. 2022. Vol. 92. N 10. P. 2191. DOI: 10.1134/S1070363222100322
2. *Черкасова А.С., Егорова А.В., Маньшина А.А.* // Мат-лы VIII Всеросс. мол. конф. с междунар. уч. «Химия и химическое образование XXI века». СПб: Издательство РГПУ им. А. И. Герцена. 24-28 марта 2025. С. 123.

Авторы благодарны ресурсному центру «Оптические и лазерные методы исследования вещества» Научного парка СПбГУ за проведение экспериментов. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 22-13-00082П.

5-ИОД-1,2,3-ТРИАЗОЛЫ КАК ПРЕДШЕСТВЕННИКИ ПРОИЗВОДНЫХ ГИДРАЗИНА

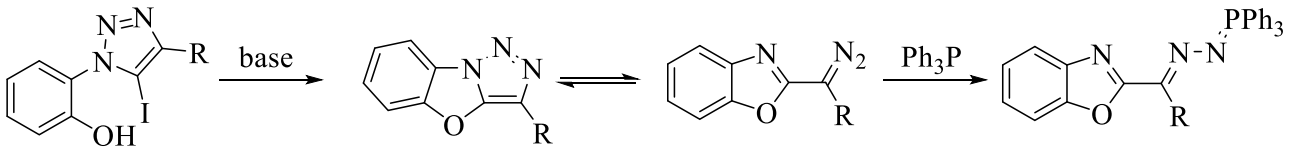
***Черняк Д.М.*, Котовщиков Ю.Н., Латышев Г.В., Лукашев Н.В., Белецкая И.П.**

МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

dmitrii.cherniak@chemistry.msu.ru

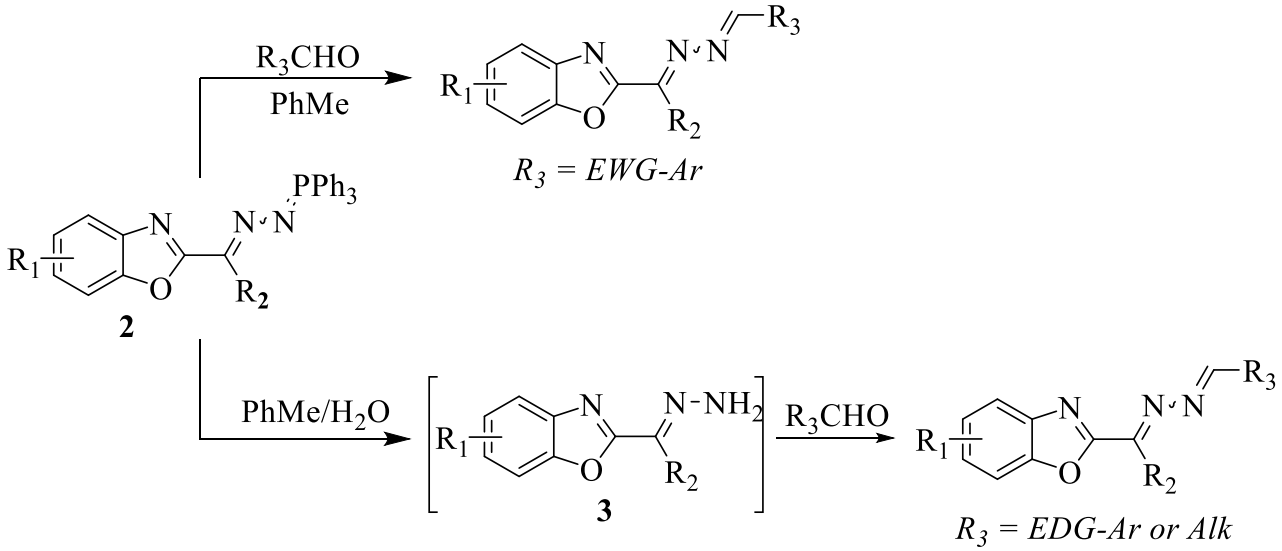
Производные гидразина представляют большой интерес из-за их широкого применения в медицинской химии, материаловедении, электрохимии, а также при создании хемосенсоров и нелинейных оптических материалов. В частности, азины служат ключевыми строительными блоками для координационных полимеров (MOF), ковалентных органических каркасов, энергонасыщенных материалов и различных гетероциклов. Кроме того, они проявляют значительную биологическую активность, демонстрируя антигипертензивные, антимикробные, противораковые и антиприонные свойства.

В наших предыдущих работах было показано, что внутримолекулярное нуклеофильное замещение в 5-иод-1,2,3-триазолах позволяет удобно получать гетероциклические диазосоединения. Эти полезные интермедиаты могут быть введены в различные реакции, например, во внедрение карбенов по связям X–H и (3+2)-циклоприсоединение [1, 2].



1 **2**

Данная работа посвящена перехвату диазосоединений, получаемых *in situ* в результате протекающей под действием основания циклизации 5-иодтриазолов **1**, с помощью реакции с трифенилфосфином с образованием соответствующих фосфазенов **2**. Последующая диаза-реакция Виттига с альдегидами может быть использована для получения разнообразных несимметричных азинов. Присутствие воды в реакционной смеси приводит к гидролизу фосфазенов с образованием гидразонов **3**.



Нами было обнаружено, что гидразоны **3** проявляют более высокую реакционную способность по отношению к карбонильным соединениям по сравнению с фосфазенами **2**, что позволяет проводить реакции не только с электроноакцепторными альдегидами, но и с электронодонорными и алифатическими альдегидами. Таким образом, нами был осуществлен one-pot синтез более 20-ти структурно разнообразных азинов из 2-(5-иод-1,2,3-триазолил)фенолов **1** с выходами от хороших до высоких.

Список литературы

1. *Kotovshchikov Yu.N., Latyshev G.V., Navasardyan M.A., Erzunov D.A., Beletskaya I.P., Lukashev N.V.* // Org. Lett. 2018. Vol. 20. N 15. P. 4467. DOI: 10.1021/acs.orglett.8b01755
2. *Barashkova X.A., Gevondian A.G., Latyshev G.V., Kotovshchikov Y.N., Bezzubov S.I., Lukashev N.V., Beletskaya I.P.* // Org. Lett. 2024. Vol. 26. N 45. P. 9625. DOI: 10.1021/acs.orglett.4c03082

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОХРОМНЫХ ОЛИГОМЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ СПИРОПИРАНОВ, СОДЕРЖАЩИХ КАРБОКСИЛЬНЫЕ ГРУППЫ

Шерендова В.Е.*, *Масленченко А.Ю.*, *Мирошников В.С.

РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

v.sherendova@mail.ru

Спиропираны являются перспективным классом фотохромных соединений, за счет своих свойств они могут быть использованы в текстильной промышленности, производстве дисплеев, фотографии, в качестве флуоресцентных зондов. Способность спиропиранов обратимо изомеризоваться под действием разнообразных внешних условий делает их перспективными соединениями для модификации полимерных систем. Светочувствительные полимеры широко используются в нанотехнологиях, в биомедицине, в защите от подделок документов, а также в диагностической визуализации [1].

Данная работа посвящена синтезу олигомерных спиропиранов, а также изучению влияния полимерной структуры на свойства исходных фотохромов. Исследования проводились на спиропиранах, содержащих в своей структуре карбоксигруппу, являющейся наиболее реакционноспособной по отношению к олигоэпоксиэфирам (Схема 1).

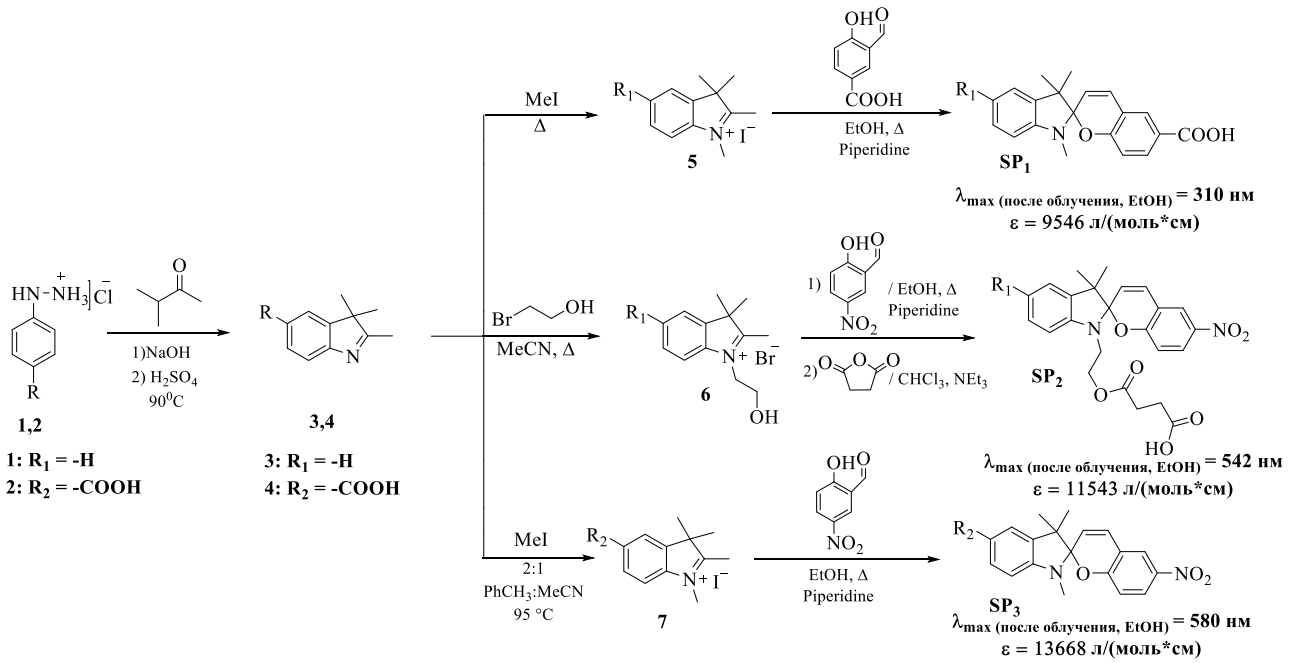


Схема 1. Синтез спиропиранов, содержащих в своей структуре карбоксигруппу

Фотохромные олигомерные соединения были получены путем реакции концевых глицидных групп олигоэпоксисмолы с карбоксильной группой спиропиранов (Схема 2).

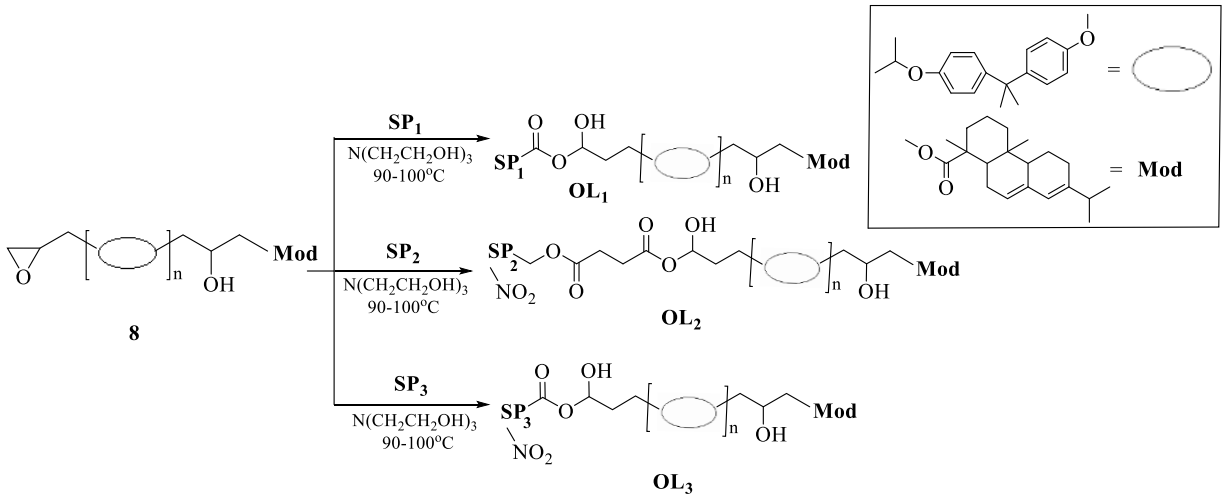


Схема 2. Получение фотохромных олигомерных соединений

Фотохромные свойства полученных соединений были исследованы с помощью электронных спектров поглощения, зарегистрированных до и после облучения соединений УФ-излучением. Исследование показало, что спиропиран **SP₁** и олигомер **OL₁** фотохромными свойствами не обладают.

Полученными спиропиранами **SP₂** и **SP₃** были окрашены образцы поливинилхлорида (ПВХ). Колориметрические данные окрашенного ПВХ показали, что введение соединения **SP₃** в олигомер увеличивает время жизни мероцианиновой формы спиропирана более, чем в 2.5 раза. Для соединения **SP₂**, напротив, мероцианиновая форма свободного спиропирана более устойчива, чем для олигомерного (Рисунок 1).

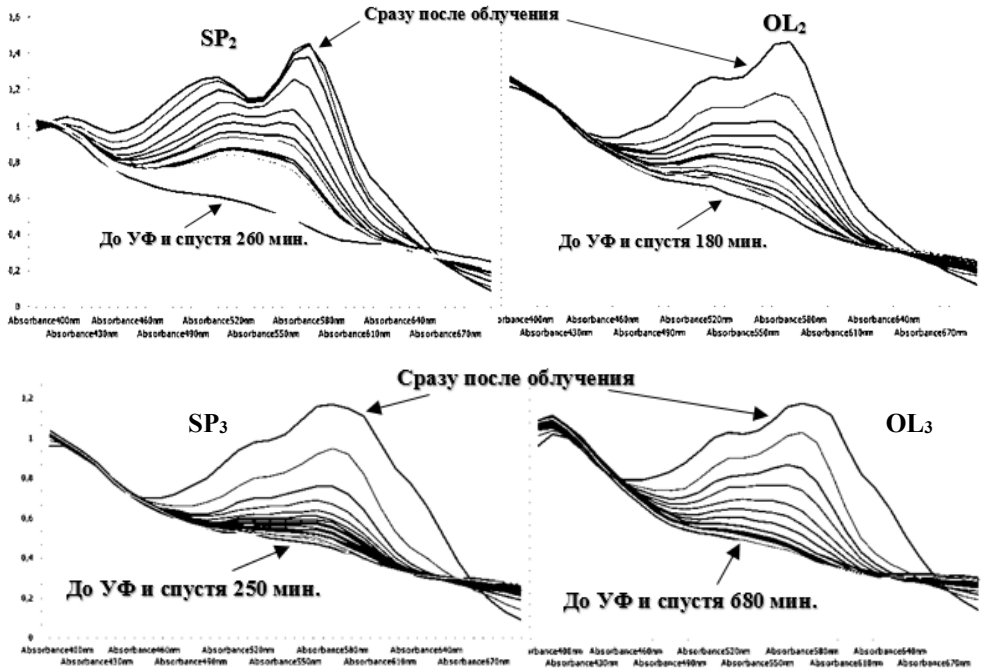


Рисунок 1. Колориметрические данные окрашенных образцов ПВХ

Список литературы

1. *Ventura C.* Light-responsive spiropyran based polymers: Synthesis and photochromic behavior // PhD thesis. Dublin: Dublin City University, 2014.

НИТРОТИОЛЕНДИОКСИД И ЕГО ПРОИЗВОДНЫЕ В РЕАКЦИЯХ С БИНУКЛЕОФИЛАМИ

Шестухина С.М.*, *Ефремова И.Е.

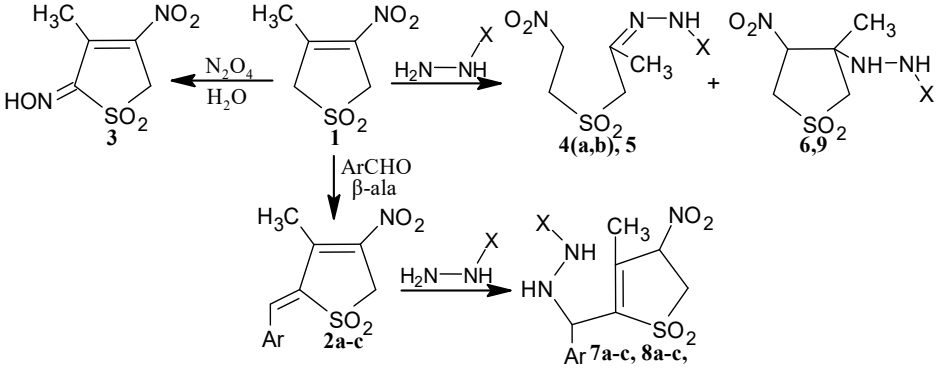
РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

kohrgpu@yandex.ru

Богатые синтетические возможности тиолен-1,1-диоксидов обуславливают неослабевающий интерес к соединениям этого класса. Особое место в ряду функционально замещенных соединений этого ряда принадлежит нитротиолен-1,1-диоксидам − незаменимым объектам для синтеза ряда труднодоступных алифатических и гетероциклических систем [1,2].

Целью настоящей работы явилось проведение сравнительного анализа поведения нитросульфолена **1** и его производных с бинуклеофилами, отличающихся основностью и пространственным строением.

В качестве объектов исследования выбраны 3-метил-4-нитро-3-тиолендикосид **1**, нитросульфодиены **2a-c** и 2-оксимино-3-метил-4-нитро-3-тиолендиоксид **3**.



Ar = Ph**(a)**, 4-Cl-Ph**(b)**, 4-Br-Ph**(c)**

X = 4-Cl-Ph**(4a)**, 4-Br-Ph**(4b)**, C(O)NHPh**(5,6,7)**, $C(NNO_2)NH_2$**(8)**, $C(S)NH_2$**(9,10)**, $C(O)NH_2$**(11)**

На основе взаимодействия нитросульфолена **1** с 4-хлор(бром)фенилгидразинами, фенилсемикарбазидом и тиосемикарбазидом получены продукты реакции переалкенилирования **4(a,b), 5** (выходы 56-78%), а также *аза*-аддукты **6,9** (выходы 55-68%).

Реакции нитросульфодиенов **2a-c** с фенилсемикарбазидом, аминонитрогуанидином и тиосемикарбазидом также протекали по пути Ad_N и завершались образованием аддуктов **7a-c**, **8a-c** и **10b** (выходы 60-90%).

Модифицирована методика получение оксима **3**, анализируются его взаимодействия с выбранными бинуклеофилами.

Строение полученных соединений установлено на основании данных ИК, ЯМР ^1H,^{13}C и двумерной спектроскопии.

Список литературы

1. *Лапшина Л.В., Ефремова И.Е., Вакуленко М.И., Берестовицкая В.М.* // ЖОХ. 2012. Т. 82. Вып. 6. С. 1051. DOI: 10.1134/S107036321206028X
2. *Ефремова И.Е., Серебрянникова А.В., Беляков А.В., Лашина Л.В.* // ЖОХ. 2019. Т. 89. Вып. 3. С. 468. DOI: 10.1134/S0044460X19030211

ДИЗАЙН ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДНЫХ ПРИРОДНЫХ ХЛОРИНОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ФДТ

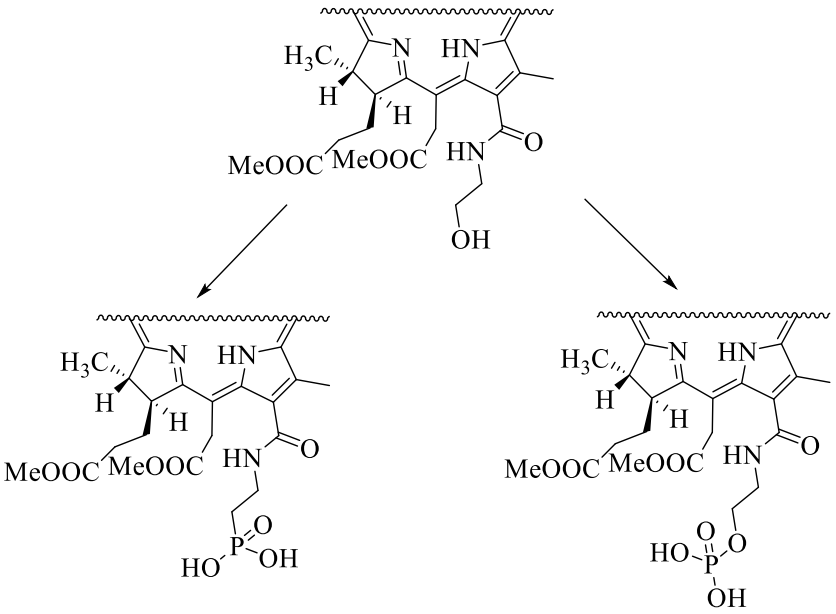
***Шипулина Н.А.*, Павлова П.А., Погорилый В.А., Грин М.А.**

РТУ МИРЭА, Москва

nadya.shipulina.02@mail.ru

Водорастворимость фотосенсибилизаторов является критически важным требованием для их эффективного применения в ФДТ, поскольку именно гидрофильно-гидрофобный баланс молекулы обеспечивает оптимальную биодоступность, стабильную концентрацию в системном кровотоке и эффективную доставку к целевым тканям после парентерального введения. Введение фосфорсодержащих групп в структуру хлорина позволяет получать соединения с улучшенной гидрофильностью и биораспределением, способные к селективной активации непосредственно в опухолевой ткани под действием ферментов (щелочной фосфатазы). Сравниваются два типа производных: фосфатные пролекарства (связь P–O–C), характеризующиеся быстрой ферментативной активацией, и более стабильные фосфонатные производные (связь P–C), обеспечивающие контролируемое высвобождение активной формы.

В данной работе были разработаны и реализованы стратегии синтеза фосфонатных и фосфатных производных на основе природных хлоринов. Структура соединений подтверждена комплексом физико-химических методов анализа: масс-спектрометрией, ЯМР-спектроскопией (^{1}H, ^{13}C, ^{31}P) и УФ-видимой спектрофотометрией.



Работа выполнена при поддержке проекта «НИЧ-РАДИОФАРМПРЕПАРАТЫ», реализуемого в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» РТУ МИРЭА.

АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ КАРКАСЫ ПОЛИ(3-ОКСИБУТИРАТА), МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИДОФАМИНОМ

***Шлапакова Л.Е.*, Мухортова Ю.Р., Сурменева М.А., Сурменев Р.А.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

les2@tpu.ru

Разработка «умных» антибактериальных биоматериалов для регенеративной медицины является актуальной задачей в условиях роста резистентности к антибиотикам [1]. В этой связи, перспективны материалы, свойства которых можно дистанционно активировать и тонко настраивать путем приложения безопасных и неинвазивных физических стимулов, таких как ультразвук (УЗ), ближнее инфракрасное (БИК) излучение, магнитное поле [2]. В этом контексте полидофамин (ПДА) представляет уникальную платформу, обладающую выраженным синергетическим антибактериальным действием, которое реализуется за счёт двойного механизма: БИК-индуцированной локальной гипертермии, вызывающей денатурацию белков и повреждение мембран бактерий, и каталитической генерации активных форм кислорода (АФК), приводящей к окислительному стрессу, пероксидации липидов, разрывам ДНК и лизису клеток [3]. Ключевую роль в прооксидантной функции – способности генерировать АФК, в частности, пероксид водорода (H_2O_2) – играют катехольные группы в структуре ПДА, способные отдавать электроны растворенному в воде кислороду и при этом окисляться до хинонных форм, проходя стадию хинон-радикалов (Рис. 1). Одновременно происходит превращение кислорода в бактерицидный H_2O_2. Управляя соотношением восстановленных (катехол) и окисленных (хинон) форм ПДА, можно целенаправленно регулировать его прооксидантный потенциал.

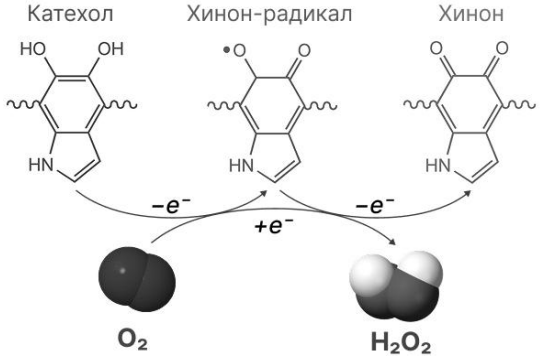


Рис. 1. Схема генерации H_2O_2 за счет поэтапного окисления катехольных форм до хинонов в структуре ПДА

В данной работе нановолоконные каркасы были получены методом электроформования раствора поли(3-оксибутирата) (ПОБ), после чего их поверхность модифицировали *in situ* осаждением наночастиц ПДА с последующим контролируемым химическим восстановлением аскорбиновой кислотой. Время восстановления варьировали в широком диапазоне (30, 60, 90 и 120 мин) для тонкого управления окислительно-восстановительным

состоянием ПДА и, следовательно, его прооксидантными и антибактериальными свойствами. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) подтверждено изменение соотношения катехольных и хинонных групп в покрытии в зависимости от времени обработки. Показано, что полученные материалы обладают выраженным фототермическим эффектом под действием БИК-излучения.

Прооксидантный эффект был изучен путем оценки каталитической деградации красителя родамина. Установлено, что каркасы ПОБ/ПДА демонстрируют выраженную каталитическую активность даже в отсутствии физических стимулов, что объясняется прооксидантными свойствами катехольных групп ПДА (Рис. 1). Ключевым результатом является значительное усиление прооксидантной активности при увеличении времени химического восстановления ПДА аскорбиновой кислотой: в то время как образцы, восстановленные в течение 30 минут, не показали существенного усиления эффекта по сравнению с невосстановленным ПДА, увеличение времени обработки до 60, 90 и 120 минут привело к резкому росту каталитической активности, что коррелирует с повышением доли восстановленных (катехольных) форм в покрытии. Применение УЗ и БИК излучения интенсифицирует процесс за счет нагрева, который может ускорять окислительно-восстановительные реакции на поверхности ПДА, приводя к более эффективной генерации АФК.

Антибактериальные тесты *in vitro* против *Staphylococcus aureus* подтвердили высокую эффективность восстановленных каркасов ПОБ/ПДА, действующих по двойному механизму: бактерицидной гипертермии и индукции окислительного стресса в бактериальных клетках за счет генерируемых АФК.

Список литературы

1. *Feng P., HeR., Gu Y., Yang F., Pan H., Shuai C.* // Materials Horizons. 2024. Vol. 11. N 3. P. 590. DOI: 10.1039/D3MH01298K
2. *Rahimnejad M., Jahangiri S., Zirak Hassan Kiadeh S., Rezvaninejad S., Ahmadi Z., Ahmadi S., Rabiee N.* // Critical Rev. Biotechnol. 2024. Vol. 44. N 5. P. 860. DOI: 10.1080/07388551.2023.2213398
3. Xu, H., Zhang Y., Zhang H., Zhang Y., Xu Q., Lu J., Feng S., Luo X., Wang S., Zhao Q. // Coord. Chem. Rev. 2023. Vol. 488. Art. № 215153. DOI: 10.1016/j.ccr.2023.215153

Выражаем благодарность коллективу лаборатории биоинженерии ИФПМ СО РАН под руководством Ложкомоева А.С. за проведение биологических испытаний, Анорину В.Е. за исследование фототермических свойств материалов и Козадаевой М. за проведение РФЭС. Исследование выполнено за счёт гранта РНФ № 25-13-20058 (https://rscf.ru/project/25-13-20058/) и гранта в форме субсидии, выделяемого Департаментом по научно-технологическому развитию и инновационной деятельности Томской области.

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДИМЕРИЗАЦИЯ ПИРИДИНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ $TaCl_5$ и Mg

***Юлбарисов А.Б.*[1,2], *Габдуллин А.М.*[1], *Кадикова Р.Н.*[1], *Рамазанов И.Р.*[1]**

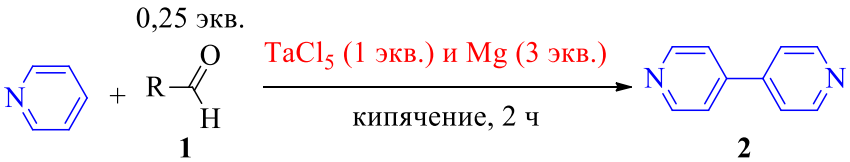
[1]*Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН, Уфа*

[2]*Уфимский университет науки и технологий, Уфа*

aidar.yulbarisov@gmail.com

Бипиридины представляют собой важный класс *N*,*N*-хелатирующих лигандов, широко используемых для координации с ионами переходных металлов. Образующиеся комплексы находят применение в качестве катализаторов, фотосенсибилизаторов и строительных блоков в супрамолекулярной химии [1]. Классические методы получения бипиридинов основаны на реакциях взаимодействия галогенидов пиридина с органометаллическими соединениями [1]. Окислительная димеризация пиридина под действием диизопропиламида лития [2], а также таких металлов, как никель или натрий, является еще одним методом получения 2,2'- и 4,4'-бипиридинов.

Нами установлено, что реакция $TaCl_5$ с металлическим магнием в растворе пиридина в присутствии алифатических альдегидов **1** при кипячении в течение 2 ч сопровождается высокоселективным образованием 4,4'-бипиридина **2** с высоким выходом. Показано, что в отсутствие как металлического магния, так и алифатического альдегида пиридин в реакционной смеси не претерпевает превращений. При замене пиридина на 1,2,4,5-тетраметилбензол (дурол), толуол и бензол в тех же условиях образование продуктов димеризации не наблюдалось. Использование ароматических альдегидов в исследуемом превращении также не привело к образованию целевого продукта **2**.



1 **2** 84-87%

Список литературы

1. *Summers L.A.* // Advances in heterocyclic chemistry. 1984. Vol. 35. P. 281. DOI: 10.1016/S0065-2725(08)60151-8
2. *Clarke A. J., McNamara S., Meth-Cohn O.* // Tetrahedron Lett. 1974. Vol. 15. N 27. P. 2373. DOI: 10.1016/S0040-4039(01)92259-2

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-00302.

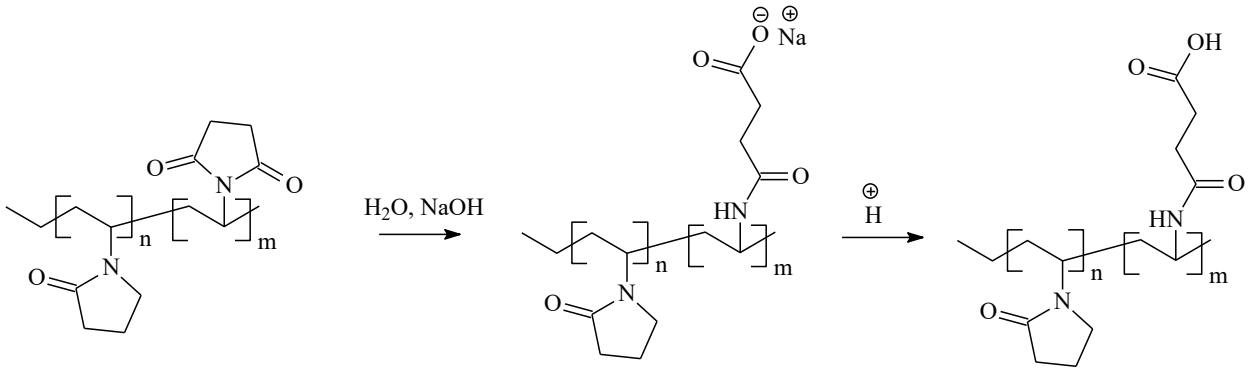
СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА С N-ВИНИЛСУКЦИНИМИДОМ В УСЛОВИЯХ КЛАССИЧЕСКОЙ И КОНТРОЛИРУЕМОЙ (RAFT) ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

***Яковлев В.В.*, Хиль А.М., Гостев А.И., Сивцов Е.В.**

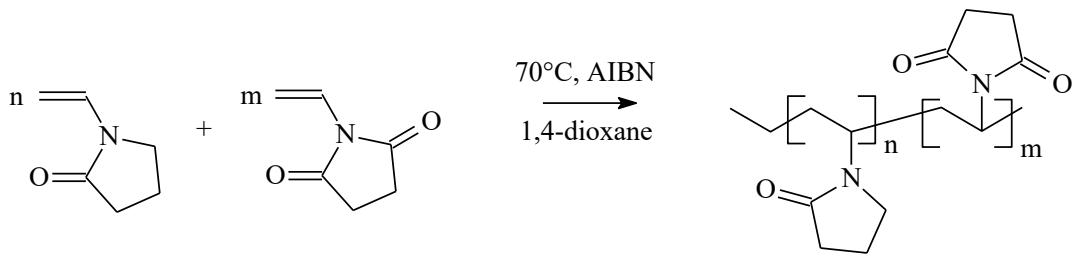
СПбГТИ(ТУ), Санкт-Петербург

yakovlev8t@gmail.com

Сополимеры N-винилсукцинимида (ВСИ) с N-винилпирролидоном (ВП), которые щелочным гидролизом с последующим переводом в кислотную форму легко превращаются в сополимеры N-виниламидоянтарной кислоты (ВАЯК) с ВП являются идеальными матрицами для иммобилизации физиологически активных веществ:



Это связано с их низкой токсичностью и «удобной» функциональностью для проведения взаимодействий по функциональным группам большинства активных фармацевтических ингредиентов. Их развитие в этом направлении сдерживается не только трудной доступность мономера ВСИ, но и проблемами синтеза полимеров с заданной молекулярной массой (ММ) и узким молекулярно-массовым распределением. В нашей работе классической радикальной полимеризацией в 1,4-диоксане, инициированной динитрилом азобисизомасляной кислоты были получены серии сополимеров, содержащие 1–25 мол.% звеньев ВСИ, с расчетными ММ от 10 до 100 тыс:



ВП **ВСИ** **сополимер поли(ВП-ВСИ)**

Несмотря на низкую концентрацию мономеров, ММР всех полученных полимеров было полимодальным с высокомолекулярной модой в районе 10^6. Это, по-видимому, является следствием активной передачи цепи на полимер и представляет серьезную проблему для дальнейшего применения в составе макромолекулярных лекарственных форм. Данная проблема решалась применением одной из техник контролируемой радикальной полимеризации с обратимой дезактивацией цепи – RAFT полимеризации. В качестве агента обратимой передачи был выбран метил-2-[метил(4-пиридинил)карбамотиоилтио]пропионат, который в непротонированной форме является эффективным по отношению к мало активным мономерам, типичным представителем которых является ВП. Данный передатчик цепи является «переключаемым», т.е. при протонировании он становится эффективным по отношению к активным мономерам, которым является ВСИ. Это открывает перспективу для синтеза амфифильных блок-сополимеров, способных к образованию мицелл в растворах с внутренней гидрофобной (из звеньев ВСИ) сферой и внешней гидрофильной (сополимер ВП-ВАЯК или просто ВП) – типичных средств для доставки нерастворимых лекарственных веществ в организм:

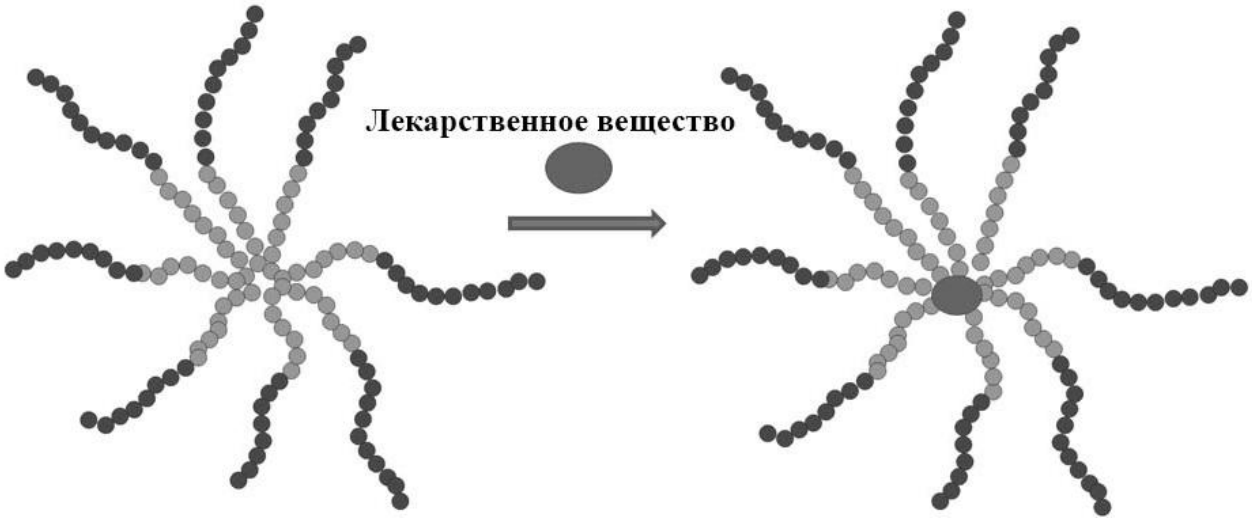


Рисунок – Схема мицеллы, образованной макромолекулами сополимера N-винилпирролидона (темные кружки) и N-винилсукцинимида (светлые кружки), и образование частицы, содержащей во внутренней гидрофобной сфере лекарственное вещество.

В работе были впервые изучены термофизические свойства сополимеров поли(ВСИ-ВП), кинетика сополимеризации ВП и ВСИ, молекулярно-массовые характеристики полученных полимеров.

РАЗРАБОТКА ONE-POT СИНТЕЗА АЛКИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗОТИАЗОЛА КАК ПОЛУПРОДУКТОВ ДЛЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ КЛЕТОЧНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

***Яковлева П.А.*, Бенедиктов П.М., Новикова Д.С., Ворона С.В.**

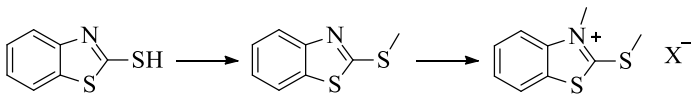
СПбГТИ(ТУ), Санкт-Петербург

ypa.pa3002@gmail.com

Бензотиазоловые цианиновые красители полигеньконаходят широкое применение в области молекулярной биологии. В основе таких современных флуоресцентных соединений, как SYBR Green и SYTO-9, способных визуализировать ДНК и клеточные органеллы, лежит флуорофор классического красителя тиазолового оранжевого, который получают конденсацией 2-алкилтио-3-алкилбензотиазолия и четвертичной соли хинолина [1]. Так как перечисленные красители являются импортными продуктами, актуальной задачей в контексте импортозамещения является разработка синтетической стратегии их получения. Таким образом, целью данного исследования стала разработка препаративного метода синтеза солей 2-алкилтио-3-алкилбензотиазолия, которые являются прекурсорами для получения производных тиазолового оранжевого [1].

Существующие способы синтеза замещенных бензотиазолов подразделяются на методы, основанные на циклизации (например, окисление тиоацетанилида) и методы, заключающиеся в алкилировании различных бензотиазолов [2]. Алкилирование является более предпочтительным в связи с простотой реализации и низкой энергоемкостью.

В ходе проведенного исследования были реализованы различные стратегии двухстадийного алкилирования меркаптобензотиазола. Для корректного сравнения влияния условий реакции на выход продукта во всех экспериментах вводили метильную группу, используя три различных алкилирующих агента.



X = I, RSO_4, TsO

В результате исследования был разработан препаративный one-pot метод получения целевых производных бензотиазола. Полученные полупродукты будут использованы для синтеза новых красителей для целей биоимиджинга.

Список литературы

1. *Domahidy F., Kovacs B., Cseri L., Katona G., Rozsa B., Mucsi Z., Kovacs E. //* ChemPhotoChem. 2024. Vol. 8. P. e202400080. DOI: 10.1002/cptc.202400080
2. *Wang H., Wang L., Shang J., Li X., Wang H., Gui J., Lei A.* // Chem. Commun. 2012. Vol. 48. P. 76–78. DOI: 10.1039/c1cc16184a

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект №24–73–10221).

СЕКЦИЯ 2

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ, КООРДИНАЦИОННАЯ ХИМИЯ И НАНОХИМИЯ

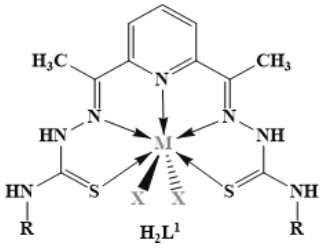
РОЛЬ ЭЛЕКТРОННЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ КОМПЛЕКСОВ 3d-МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ 2,6-ДИАЦЕТИЛПИРИДИНА

Андреева А.С.*, *Тикиджи М.В.*, *Туполова Ю.П.*, *Щербаков И.Н.

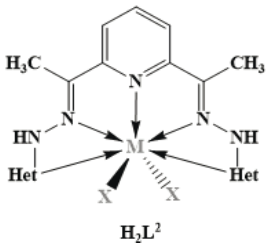
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

anand@sfedu.ru

Моноядерные комплексы 3d-металлов являются удобными объектами для исследования зависимости аксиального параметра магнитной анизотропии D от особенностей молекулярного строения координационных соединений. Для изучения влияния строения бис-гидразона на магнитные свойства металлохелатов, нами были синтезированы две серии комплексных соединений гептакоординированных Co(II), Ni(II) и Fe(II) с продуктами конденсации 2,6-диацетилпиридина с гетероциклическими гидразинами [1] и 4-R-тиосемикарбазидами. Состав и строение исследуемых соединений были определены с помощью ЯМР-, ИК-, мессбауэровской спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. Синтезированные комплексы Co(II), Ni(II) и Fe(II) имеют общую формулу $[M(H_2L)X_2]$, где H_2L – молекулярная N_3S_2- или N_5- донорная форма лиганда. Все металлохелаты характеризуются пентагонально-бипирамидальным строением координационного узла. На рис. 1 приведено молекулярное строение комплекса $[Co(H_2L_1)(NCS)_2]$ (R = All).



H_2L^1



H_2L^2

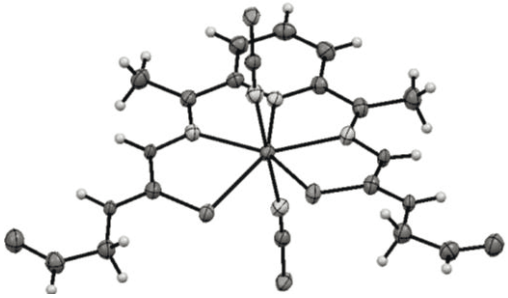
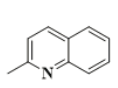
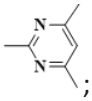


Рис. 1. Строение комплекса $[Co(H_2L^1)(NCS)_2]$ (R = All).

R = H, All, *i*-Pr, *t*-Bu, Ph;

M = Co(II), Fe(II), Ni(II);

X = Cl^- ,NCS^- ,H_2O.

Het =  ,  ;

Для оценки параметров расщепления в нулевом поле (ZFS – zero field splitting) были проведены расчеты методом полного активного пространства CASSCF с использованием базиса def2-TZVP. На основе полученных данных выявлена взаимосвязь между величиной параметра D и степенью отклонения геометрии координационного узла от идеальной пентагональной бипирамиды: чем ближе структура комплекса к идеальной геометрии, тем выше значение параметра D. Также установлено влияние природы ацидолиганда на параметр магнитной анизотропии. Показано, что наибольшие значения параметра D наблюдаются в комплексах, содержащих хлорид-ионы. Установлено, что природа металла-комплексообразователя оказывает влияние на знак и величину параметра расщепления D. Наибольшие значения по абсолютной величине параметра расщепления в нулевом поле наблюдаются в комплексах Co(II) (D = 11.28 - 41.94 $см^{-1}$). Максимальное значение параметра D (41.94 $см^{-1}$) было обнаружено у металлохелата $[Co(H_2L^1)(Cl)_2]$ (R = NH_2), что делает его наиболее перспективным для создания соединений со свойствами мономолекулярного магнита.

Список литературы

1. *Tupolova Y.P., Korchagin D.V., Andreeva A.S., Tkachev V.V., Shilov G.V., Lazarenko V.A., Popov L.D., Babeshkin K.A., Efimov N.N., Morgunov R.B., Palii A.V., Kubrin S.P., Shcherbakov I.N., Aldoshin S.M.* // Magnetochemistry. 2022. Vol. 8. N 11. P. 153. DOI:10.3390/magnetochemistry8110153

ЦИКЛОМЕТАЛЛИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПЛАТИНЫ(II) С ИЗОЦИАНИДНЫМИ И АЦИКЛИЧЕСКИМИ ДИАМИНОКАРБЕНОВЫМИ ЛИГАНДАМИ КАК ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ЛЮМИНОФОРЫ

***Антонова Э.В.*, Кинжалов М.А.**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

elina.antonova@spbu.ru

Металлоорганические комплексы платины(II) представляют значительный интерес в качестве перспективных люминофоров для создания инновационных материалов в области оптоэлектроники, биосенсорики и фотокатализа, включая фосфоресцирующие органические светодиоды (PHOLED). Их фотофизические характеристики критически зависят от электронных стерических свойств лигандного окружения, которые определяют природу электронных переходов и механизмы дезактивации возбужденных состояний [1-3]. В связи с этим актуальной задачей является разработка стратегий направленного синтеза, позволяющих модулировать оптические свойства комплексов за счет контролируемой модификации лигандного окружения.

Представленная работа посвящена систематическому исследованию циклометаллированных комплексов платины(II) двух типов: с изоцианидными лигандами [Pt(C^N)L(CNR)] (**1–18**) и с ациклическими диаминокарбеновыми лигандами [Pt(C^N)L(ADC)] (**19–24**), где в качестве циклометаллирующих лигандов (C^N) выступают ppy или dfppy, а анионного лиганда (L) – Cl или SCN.

Введение ароматических изоцианидов, содержащих галогенидные заместители (Br, I) с положительно заряженной σ-дыркой, обеспечивает их участие в направленных межмолекулярных взаимодействиях. Так, супрамолекулярная структура в кристалле комплексов [Pt(ppy)Cl(CNR)] (R = C_6H4-2-I **1**, C_6H_4-4-I **2**, C_6H_3-2-F-4-I **3**, C_6H_3-2,4-I_2 **4**) определяется наличием галогенных I···Cl связей между галогенидным заместителем в изоцианидном лиганде и хлоридным лигандом.

Интересно, что изменение условий кристаллизации комплекса **2** (переход от раствора CH_2Cl_2 к горячему раствору EtCN) приводит к образованию другого полиморфа – оранжевых призматических кристаллов $\mathbf{2^{II}}$ с максимумом люминесценции в красной области спектра. В структуре $\mathbf{2^{II}}$ обнаружены металлофильные Pt···Pt контакты, отсутствующие в зеленом полиморфе $\mathbf{2^{I}}$; при этом данный полиморф демонстрирует в 24 раза больший квантовый выход люминесценции (12%) по сравнению с жёлтыми кристаллами $\mathbf{2^{I}}$ (0.5%).

Сходный эффект наблюдается при сокристаллизации комплекса **14** с 1,4-DITFB: образующийся аддукт 14·½(1,4-DITFB) демонстрирует более высокий

квантовый выход, чем индивидуальный комплекс, при сохранении спектральных характеристик. Таким образом, формирование направленных межмолекулярных контактов (Pt···Pt, C–I···Cl–Pt и π-дырка изоцианидной группы··· $d_z^2[Pt^{II}]$) повышает жёсткость структуры, уменьшает колебательную релаксацию и увеличивает квантовый выход фотолюминесценции.

Галогенные связи также позволяют управлять кристаллизацией тиоцианатных комплексов, стабилизируя определённую изомерную форму в твердой фазе. В растворе $CDCl_3$ изоцианидные комплексы **15–18** (R = C_6H_3-2-F-4-I **15**, C_6H_3-2,4-I_2 **16**, C_6H_3-2-I-4-Br **17**, C_6H_3-2,4-Br_2 **18**) существуют как равновесная смесь S- и N-связевых изомеров. Однако при кристаллизации этих соединений формируется исключительно одна форма: либо N-координированная (**15**·$CHCl_3$ и **15**·CH_2Cl_2), либо S-координированная (**16**$^{\mathbf{S}}$·$CHCl_3$, **17**$^{\mathbf{S}}$·$CHCl_3$ и **18**$^{\mathbf{S}}$·$MeNO_2$). Во всех полученных кристаллах идентифицированы галогенные связи X···S или X···N (X = Br, I), что подтверждает определяющую роль нековалентных взаимодействий в формировании конечной изомерной формы.

Фотофизические свойства также изучены в растворах и полимерных матрицах (ПММА, ПС, П(ММА–ИБА), П(ИБА–АН) и П(ММА–АН)). Иммобилизация в полимерной среде во всех случаях приводит к росту квантовых выходов люминесценции по сравнению с растворами благодаря ограничению внутримолекулярной подвижности и подавлению безызлучательной дезактивации возбуждённых состояний. Если для изоцианидных комплексов максимальный квантовый выход составляет 9% (комплекс **10**), то ациклические диаминокарбеновые комплексы **19–24** демонстрируют значительно более высокие значения — в диапазоне 33–75%, что подтверждает эффективность предложенного подхода к модификации структуры.

Список литературы

1. *Kinzhalov M. A., Grachova E. V., Luzyanin K. V.* // Inorg. Chem. Front. 2022. Vol. 9. P. 417–439. DOI: 10.1039/D1QI01288F.
2. *Dobrynin M. V., Sokolova E. V., Kinzhalov M. A., Smirnov A. S., Starova G. L., Kukushkin V. Y., Islamova, R. M.* // ACS Applied Polymer Materials. 2021. Vol. 3. N. 2. C. 857–866. DOI: 10.1021/acsapm.0c01190.
3. *Katkova S. A., Kozina D. O., Kisel K. S., Sandzhieva M. A., Tarvanen D. A., Makarov S. V., Porsev V. V., Tunik S. P., Kinzhalov M. A.* // Dalton Trans. 2023. Vol. 52. N. 14. P. 4595–4605. DOI: 10.1039/d3dt00080j.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского научного фонда (грант № 25-13-20028, https://rscf.ru/project/25-13-20028/) с использованием оборудования ресурсных центров СПбГУ «Магнитно-резонансные методы исследований», «Рентгенодифракционные методы исследования», «Методы анализа состава вещества», «Образовательный центр по направлению химия», «Оптические и лазерные методы исследования вещества».

ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ ПИРАЗОЛИЛ-МЕТАНАТНЫХ ЛИГАНДОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА β-ДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ Ag(I)

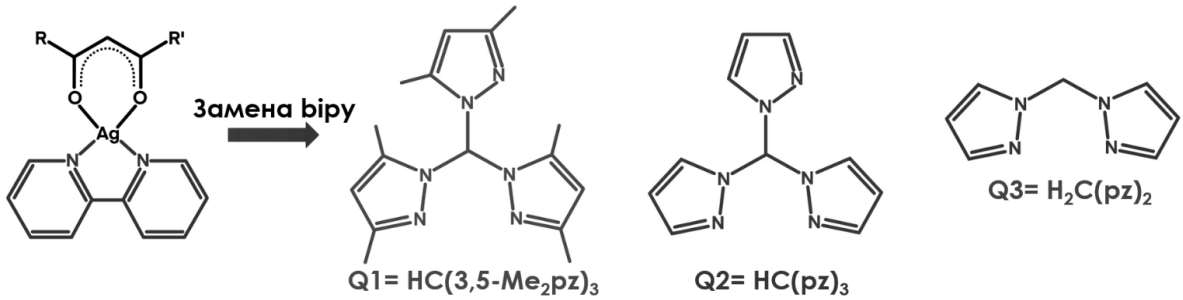
Варваринская С.Е.

НГУ, Новосибирск, ИНХ СО РАН, Новосибирск

varvarinskayasofia@gmail.com

Возрастающая потребность в медицинских имплантатах стимулирует поиск способов функционализации их поверхности для снижения риска осложнений. Перспективным направлением является нанесение наночастиц или плёнок серебра либо систем Ag–благородный металл. Для покрытия объектов сложной формы оптимален метод химического газофазного осаждения (MOCVD), обеспечивающий контроль морфологии, толщины покрытия и размера наночастиц. В качестве прекурсоров широко известны β-дикетонаты металлов, однако в случае серебра(I) такие соединения являются полимерными и обладают низкой термической стабильностью, что делает их непригодными для применения в MOCVD. Решением может стать введение в координационную сферу серебра нейтрального N-донорного лиганда для повышения стабильности и летучести.

Ранее исследованные комплексы Ag(I) с фторированными β-дикетонатами и 2,2’-бипиридилом (bipy) продемонстрировали структурное разнообразие и перспективные для MOCVD характеристики [1, 2]. В данной работе изучено влияние нейтрального N-донорного лиганда (Q) на структуру и свойства комплексов Ag(I) путём замены bipy на пиразолил-метанатные производные (Q1–Q3). В качестве β-дикетонатов использовались гексафторацетилацетонат (hfac) для всех лигандов Q и трифторацетилацетонат (tfac) для Q1.



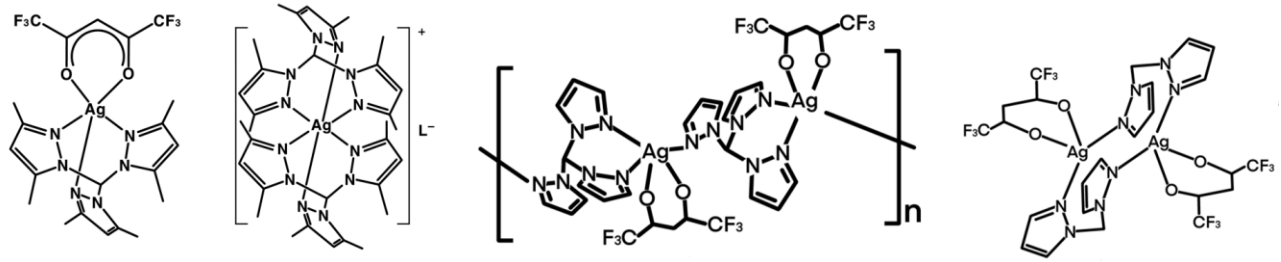
Для системы с Q1 обнаружены некоторые синтетические особенности.

Так, при использовании THF и соотношении реагентов (Q1 : “Ag(hfac)”) 1:1 образуется целевой разнолигандный молекулярный комплекс [Ag(Q1)(hfac)]·¼THF, а при избытке Q1 – ионное соединение [Ag(Q1)$_2$](hfac)·0.5THF, где β-дикетонат выступает противоионом. Использование Et_2O приводит к образованию смеси продуктов по данным ЯМР, из которых удалось получить пригодные для РСА кристаллы только для ионные комплексов. Таким образом, состав продуктов определяется не только стехиометрией реагентов, но и природой растворителя.

Для изучения данных особенностей проведены квантово-химические расчёты (ORCA 6.0.0, B3LYP-D4/def2TZVPPD, CPCM модель растворителя), оптимизированы структуры молекулярного и ионного комплексов в THF и Et_2O. Расчет показал, что образование молекулярного комплекса более выгодно при проведении синтеза в ТГФ (разность энергий образования 10.83 кДж/моль), а в Et_2O энергии сопоставимы (разница 3.77 кДж/моль).

Комплексы Ag(I) с Q1 и менее фторированным лигандом tfac оказались нестабильными, особенно в растворах. В THF кристаллизовался только ионный комплекс $[Ag(Q1)_2](tfac)\cdot Solv$. В $CHCl_3$, по данным ЯМР, первоначально образовался целевой молекулярный продукта, но при кристаллизации также получался ионный комплекс, что указывает на его большую термодинамическую устойчивость в данных условиях.

Комплексы с лигандами Q2 и Q3 синтезированы по эквимолярной реакции с “Ag(hfac)” в CH_2Cl_2. Они охарактеризованы методами ИК-, ЯМР-спектроскопии, РСА, РФА и ТГА. Установлены различия в структурной организации: комплекс с Q2 имеет полимерное строение, а с Q3 – димерное, причем в обоих случаях нейтральный лиганд выступает мостиковым. Соединения проявляют сходные термические свойства, разлагаясь в одну ступень предположительно до металлического серебра, о чём свидетельствуют расчеты по кривым потери массы.



Таким образом, установлено, что вариация N-донорного лиганда и условий синтеза принципиально влияет на строение комплексов серебра (I) (молекулярное моно- и биядерное, ионное, полимерное) и их свойства. Полученные результаты представляют интерес для дальнейших исследований свойств при варьировании β-дикетонатного лиганда в комплексах с Q1-Q3, что, в свою очередь, открывает возможности для разработки новых MOCVD-прекурсоров.

Список литературы

1. *L. Zanotto, F. Benetollo, M. Natali, G. Rossetto, P. Zanella, S. Kaciulis, A. Mezzi* //Chem. Vap. Deposition. 2004. Vol. 10. N 11. P. 207. DOI: 10.1002/cvde.200306290
2. *Vikulova E. S., Sukhikh T. S., Barysheva A. S., Ilyin I. Y., Pishchur D. P., Morozova N. B.* // J. Struct. Chem. 2024. Vol. 65. P. 489. DOI: 10.1134/S0022476624030065

СИНТЕЗ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТЫХ НАНОСТРУКТУР $CePO_4$:Tb

Васильева М.А.*, *Исаева Е.И.

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

1masha05@mail.ru

Наночастицы фосфатов лантаноидов являются многофункциональными соединениями и применяются как люминофоры, датчики, катализаторы, материалы для преобразования фотонов[1]. Ортофосфат церия(III), допированный тербием(III), обладает яркой люминесценцией и имеет потенциал применения как светоизлучающий диод (LED), материал для оптоэлектронных устройств, а также используется для флуоресцентной маркировки клеток в биологии[2]. Разработка методик синтеза систем $CePO_4$:Tb и их изучение является актуальной задачей современной химии.

Для синтеза волокнистых наночастиц $CePO_4$:Tb осуществляли обменную реакцию нитрата церия(III) и нитрата тербия(III) с ортофосфорной кислотой в присутствии целлюлозы с последующей кальцинацией образцов в муфельной печи при 700°C в течение 2 часов для удаления целлюлозного темплата. Были получены частицы $CePO_4$:Tb с различным молярным соотношением ионов Ce^{3+}:Tb^{3+} – 1:1, 2:1 и 4:1.

По данным растровой электронной микроскопии (РЭМ) (рис.1) нанокомпозиты $CePO_4$:Tb повторяют структуру целлюлозного темплата и представляют собой совокупность сферических частиц размером 200-250 нм. По данным рентгеноспектрального микроанализа, образец содержит Ce (10.4 ат.%), Tb (4.79 ат.%), P (15.35 ат.%) и O (57.27 ат.%).

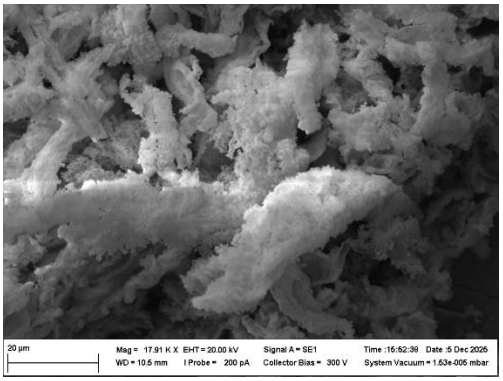


Рисунок 1 – РЭМ-изображения порошка $CePO_4$:Tb с молярным соотношением ионов Ce^{3+}:Tb^{3+}, равным 2:1

Анализ рентгенограмм полученного порошка $CePO_4$:Tb показывает наличие дифракционных рефлексов при 2θº, равном 8.86°, 21.17°, 25.34°, 27.07°, 28.78°, 31.00°, 34.55°, 37.01°, 41.91°, 46.58°, 48.91° и 53.08°, соответствующих моноклинной структуре $CePO_4$. Допирование фосфата церия(III) тербием(III) приводит к увеличению размера ОКР $CePO_4$ с 84Å до 94 Å. При этом значение ОКР $CePO_4$ практически не зависит от количества Tb^{3+} в составе образцов $CePO_4$:Tb.

По результатам ИК-спектроскопии показано, что полученные темплатным способом волокнистые структуры $CePO_4$:Tb содержат четыре полосы в диапазоне от 538 до 623 $см^{-1}$ и пять полос от 955 до 1092 $см^{-1}$, что соответствуют деформационным и валентным колебаниям фосфатного иона. Продуктов неполного сгорания целлюлозы не обнаружено.

Показано, что волокнистые частицы $CePO_4$:Tb люминесцируют в твёрдом состоянии на воздухе при комнатной температуре. Спектры люминесценции (λ_{ex} 260 нм) (рис. 2) частиц $CePO_4$:Tb характеризуются наличием высокоинтенсивных пиков, которые могут быть соотнесены с электронными переходами между термами ионов, входящих в состав образцов. Так, полосы излучения в области 480 – 630 нм соответствуют электронным переходам Tb^{3+}. Широкая полоса от 300 до 350 нм (с максимумом при 325 нм) соответствует d-f-переходам иона Ce^{3+} ($^2F_{5/2}$ ($4f^1$) – $^2D_{5/2}$ ($5d^1$)).

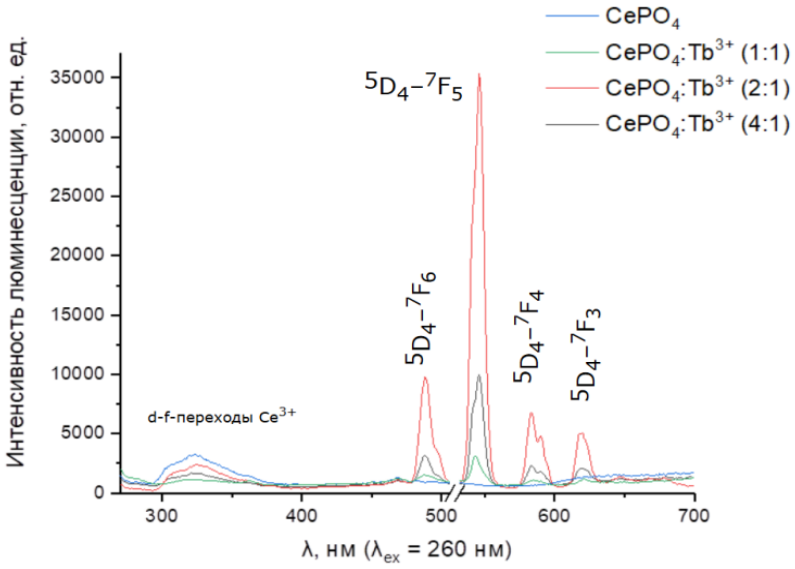


Рисунок 2 - Спектры люминесценции наночастиц $CePO_4$ и $CePO_4$:Tb с различным молярным соотношением ионов церия (III) и тербия(III)

Максимальная интенсивность люминесценции характерна для образца с мольным соотношением ионов Ce^{3+}:Tb^{3+} = 2:1, что связано с неполной передачей энергии от ионов Ce^{3+} к ионам Tb^{3+} при увеличении степени легирования[3].

В работе было исследовано влияние воды на интенсивность люминесценции частиц $CePO_4$:Tb. Выявлено, что присутствие воды приводит к значительному тушению люминесценции образцов.

Таким образом, разработана эффективная методика синтеза наночастиц $CePO_4$:Tb без примесей, описаны люминесцентные свойства полученных частиц в зависимости от их состава. Увеличение мольного содержания ионов тербия(III) в составе частиц $CePO_4$:Tb приводит к увеличению интенсивности люминесценции ионов Tb^{3+} и к уменьшению интенсивности люминесценции ионов Ce^{3+} вследствие эффективной передачи энергии от Ce^{3+} к Tb^{3+}. Присутствие воды и посторонних ионов приводит к тушению люминесценции.

Список литературы

1. *Mingyun G., Jianhua S. ,Min H., Zheng X., Feifei T., Gui Y., Xianwen W., Jianmin Z., Xiqun J.* // Nanotechnol. 2007. Vol. 18. № 41. P. 415602-415607. DOI: 10.1088/0957-4484/18/41/415602
2. *Yuebin L., Zhong S., Lun M., Xing Z., Mingzhen Y., Alan G J., Zuli L., Wei C.* // . 2010. Vol. 21. № 12. P. 125604-125610. DOI: 10.1088/0957-4484/21/12/125604
3. *Guozhu C., Sixiu S., Wei Z., Shuling X., Ting Y.* // J. Phys. Chem. 2008. Vol. 112. P. 20217–20221. DOI: 10.1021/jp8063432

ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА, СОДЕРЖАЩИХ ЗВЕЗДООБРАЗНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ

Гогунов М.Е., ***Никитин А.П., Пулялина А.Ю.***

СПбГУ, Санкт-Петербург

gogunov.marko@gmail.com

В настоящее время востребованы энерго- и ресурсосберегающие технологии, в том числе, в сфере разделения жидких и газовых смесей наиболее популярной является мембранная технология. Ассортимент известных полимерных мембран не позволяет эффективно решать все промышленные и экологические проблемы. Создание новых мембран является приоритетной задачей, в частности, новые газоразделительные мембраны получают путем модификации полимеров различными способами. Наиболее распространёнными являются добавки цеолитов, металлоорганических каркасов и различных углеродных наноматериалов (углеродные нанотрубки, фуллерены, графены). Успешно осуществляется модификация известных мембранных полимеров за счёт включения небольших (до 5-10 мас. %) добавок макромолекул сложной архитектуры (полимерные щетки, звёзды и т.д.). Звездообразные полимеры обладают уникальной структурой, которая определяет способность к самоорганизации и характеризуются высокой упорядоченностью при формировании материалов [1].

В настоящей работе получены новые гибридные мембраны на основе полилактида с включением 5 масс.% звездообразных макромолекул с центром ветвления - фуллерен C_{60} и привитыми полимерными лучами различной природы, а именно, ЗМ-1 на центре ветвления C_{60} содержит 6 лучей неполярного полистирола (PS) и 6 лучей полярного поли-трет-бутилметакрилата (PTMBA); ЗМ-2 на центре ветвления C_{60} содержит 6 лучей неполярного PS и 6 лучей полярного поли-2-винилпиридина (P2VP). Морфология полученных мембран была изучена при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), плотность материалов определяли флотационным методом, исходя из полученных данных был рассчитан свободный удельный объем. Измерение краевых углов смачивания проводилось методом сидячей капли по воде. Деформационное поведение материалов было изучено методом растяжения на разрывной машине.

Изучение транспортных свойств мембран проводилось при использовании индивидуальных газов высокой чистоты (He, O_2, CO_2, N_2) барометрическим методом на лабораторной вакуумной установке, имеющей статическую проницаемую ячейку с эффективной площадью 5.25 $см^2$ при 30 ºС. В результате были определены проницаемость и селективность мембран.

Установлено, что селективность разделения пар газов O_2/N_2, CO_2/N_2 и He/N_2 для модифицированных мембран выше, чем для чистого полилактида. Наиболее селективным по всем парам газов является композит PLA/ЗМ-2, что делает данный композит перспективным для промышленного применения.

Список литературы

1. *Vinogradova L. V. //* Russ. Chem. Bull. 2012. Vol. 61. N 5. P. 907. DOI: 10.1007/s11172-012-0135-1

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания (проект № 124013000728-0). Работа выполнена при использовании оборудования Научного парка СПбГУ: Междисциплинарного ресурсного центра по направлению «Нанотехнологии», ресурсного центра «Наноконструирование фотоактивных материалов (Нанофотоника)» и «Методы анализа состава веществ».

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ МАРГАНЦЕМ ГЕКСАФЕРРИТОВ БАРИЯ НА СТРУКТУРУ И ПРИПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ КЕРАМИКИ

Гудкова С.А., ***Шрамков Е.А., Зирник Г.М., Живулин Д.Е., Винник Д.А.***

МФТИ, Москва, ЮУрГУ, Челябинск

svetlanagudkova@yandex.ru

Гексагональные ферриты представляют большой интерес ввиду значительной анизотропии свойств и возможности варьировать эти свойства путем замещения различных ионов. Одномоментное замещение и центрального иона, и ионов железа создают условия для получения мультиферроика [1]. Марганец имеет различные степени окисления, что способствует одномоментному замещению различных ионов в гексаферрите бария.

Для изучения механизма замещения был проведен эксперимент по синтезу гексаферрита бария $BaFe_{12-x}Mn_xO_{19}$, а также теоретические квантово-химические расчеты возможности замещения иона бария ионом марганца.

Методом твердофазного синтеза получены образцы керамики $BaFe_{12-x}Mn_xO_{19}$ с x 0 – 2 и шагом 0.5. Методом рентгеновской дифракции установлена одна фаза, соответствующая кристаллической решетке гексагонального феррита M типа P63/mmc. Методом индукционно связанной плазмы (ICP) установлено соответствие химического состава исходной смеси и керамики. Однако, приповерхностные методы исследования химического состава показали значительное расхождение с исходной смесью. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) установлено, что соотношение содержания бария Ba к (Fe+Mn) составляет порядка 1:2 вместо ожидаемого 1:12, то есть наблюдается сегрегация бария к поверхности без выделения в отдельную фазу. Избыток бария в приповерхностной области создает дефицит бария в объеме материала, то есть возникает предположение, что на место бария встает другой двухвалентный ион. А если принять во внимание тот факт, что с ростом содержания марганца в кристаллической решетке, последняя практически не меняет своих размеров, то гипотеза о замещении иона бария с радиусом порядка 149 пм ионами марганца r (Mn^{2+}) = 83 пм и ионами железа r(Fe^{2+}) = 80 пм представляется нерелевантной. По этой причине выдвинуто предположение о замещении иона бария сразу группой ионов, а именно $(MnO)^{2+}$. Наличие Mn^{4+} подтверждается методом РФЭС. Квантово-химический расчет показал, что при замещении ионов Ba^{2+} на $(MnO)^{2+}$ параметры кристаллической решетки не изменяются, что косвенно подтверждают предположение о механизме замещения.

Список литературы

1. *Hrekau I.A., Migas D.B., Zhao X., Klygach D.S., Turchenko V.A., Kostishin V.G., Trukhanov S.V., Trukhanov A.V.* // Cer.Int. 2025. Vol. 51, N. 23. P. 38808. DOI:10.1016/j.ceramint.2025.06.118

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда научных исследований (проект №25-23-01348).

ГАЛОГЕНИДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИРИДИЯ(III) С ИЗОЦИАНИДНЫМИ ЛИГАНДАМИ

Гусак М.Ю.*, *Кинжалов М.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

st094961@student.spbu.ru

Комплексы иридия(III) широко применяются в разработке люминесцентных материалов, катализаторов органических реакций и супрамолекулярных систем [1]. Особый интерес представляют соединения, содержащие диаминокарбеновые лиганды и их синтетические предшественники — изоцианиды, обладающие выраженными σ-донорными свойствами. Высокая донорная способность карбеновых и изоцианидных лигандов играет ключевую роль в формировании каталитической активности и люминесцентных характеристик иридиевых комплексов. На сегодняшний день такие соединения ограничены узким кругом структур и зачастую их свойства не отвечают современным технологическим требованиям. В связи с этим целью данной работы стала разработка подходов к синтезу ранее неизвестных комплексов иридия(III) с изоцианидными лигандами.

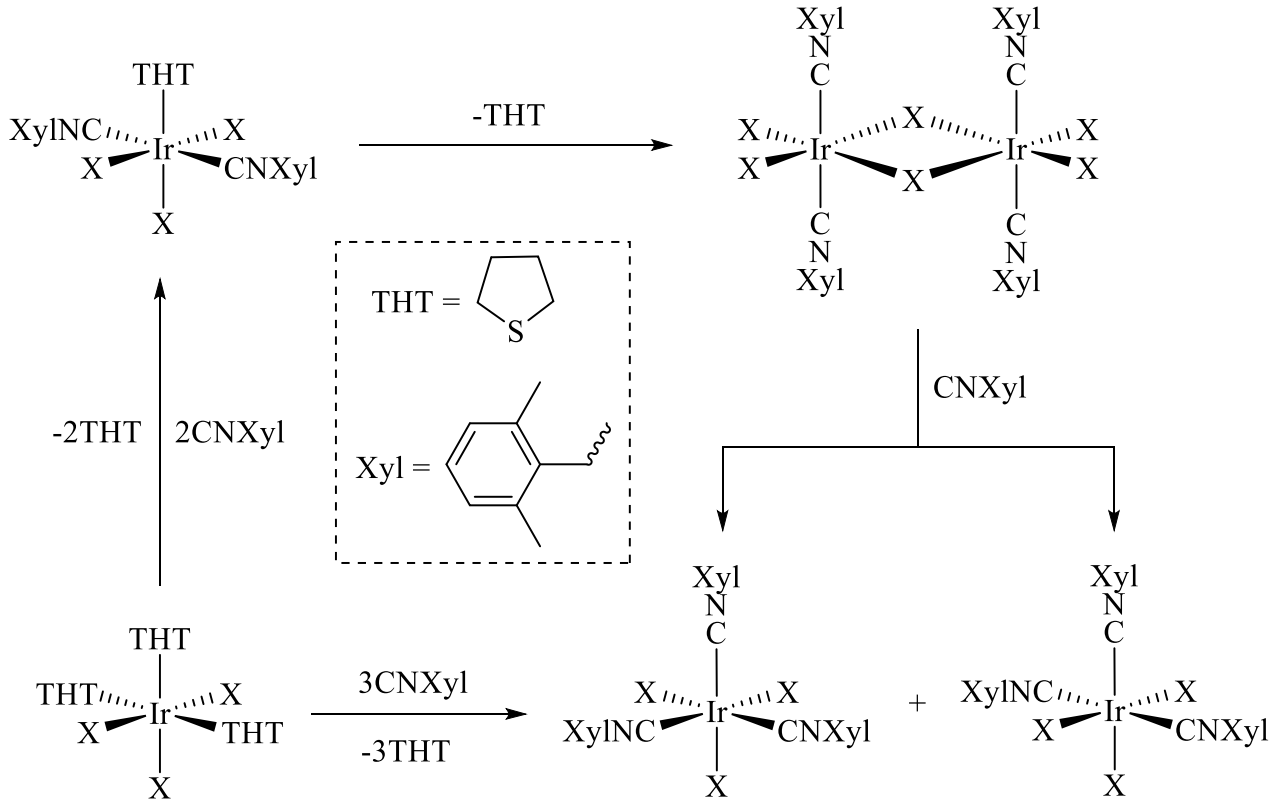


Схема 1. Получение галогенидных изоцианидных комплексов иридия(III).

В ходе работы осуществлено селективное получение галогенидных изоцианидных комплексов иридия(III) (Схема 1) из прекурсора *mer*-

$[IrX_3(THT)_3]$ (X = Cl, Br, I; THT – тетрагидротиофен) и ксилилизоцианида CNXyl (Xyl = 2,6-$Me_2C_6H_3$). В зависимости от условий синтеза были получены соединения различной степени замещенности: *mer*-$[IrX_3(THT)(CNXyl)_2]$ [2], $[\{IrX_3(CNXyl)_2\}_2]$ и *fac*-/*mer*-$[IrX_3(CNXyl)_3]$ с выходами 51–90 %. Изучена реакционная способность изоцианидных комплексов *fac*-$[IrX_3(CNXyl)_3]$ по отношению к 2,6-ксилидину (Схема 2), что позволило установить влияние координационной среды на их химические свойства.

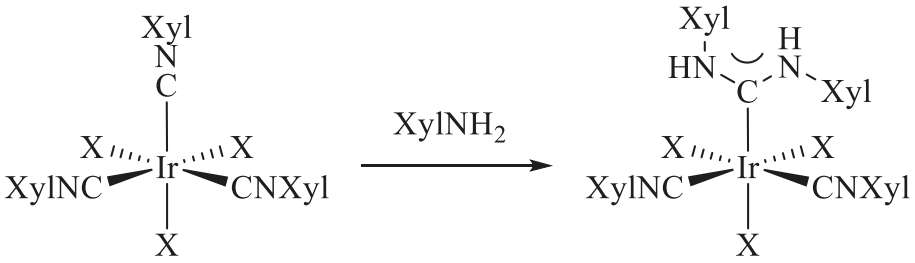


Схема 2. Реакция *fac*-$[IrX_3(CNXyl)_3]$ с 2,6-ксилидином.

Структуры всех полученных комплексов установлены методами монокристального РСА (Рис. 1), спектроскопии ЯМР на ядрах ^1H и $^{13}C\{^1H\}$, ИК- и УФ-спектроскопии, масс-спектрометрии и элементного анализа.

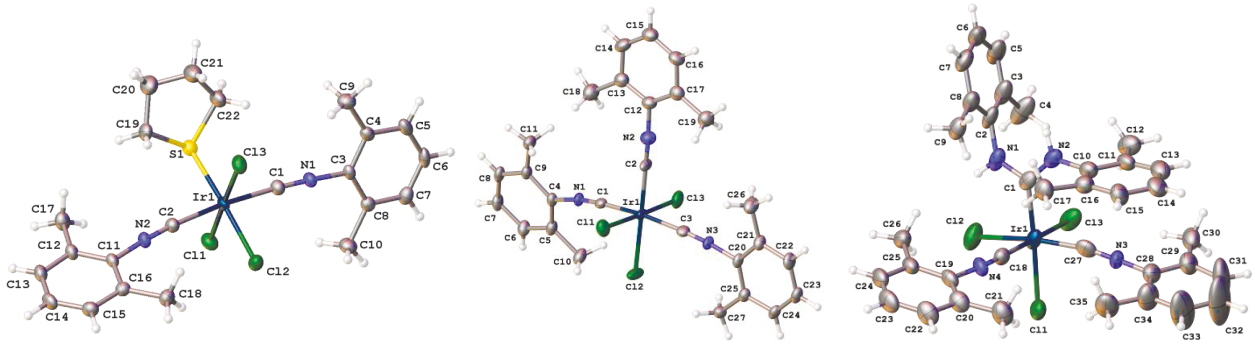


Рисунок 1. Примеры структур в тепловых эллипсоидах 50%-ой вероятности.

Список литературы

1. *Kinzhalov M.A., Grachova E.V., Luzyanin K.V.* // Inorg. Chem. Front. 2022. N 9. P 417. DOI: 10.1039/d1qi01288f.
2. *Gusak M.Yu., Kinzhalov M.A., Frontera A., Bokach N.A., Kukushkin V.Yu.* // Chem. Asian J. 2024. e202400421, DOI: 10.1002/asia.202400421.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского научного фонда (грант № 25-13-20028), а так же проведена с использованием оборудования ресурсных центров СПбГУ: МРМИ, РДМИ, МАСВ и ТИКМИ.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА НА АГРОНОМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ ZnO

Дансоко С., Банда Д., Бузько В.Ю., Сухно И.В., Полушин А.А.

Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, Краснодар

sukhno_igor@mail.ru

Как известно, наноматериалы ZnO являются перспективными препаратами в качестве пестицидов с ростостимулирующими свойствами для различных сельскохозяйственных культур. Это связано с наличием микроэлементного цинка с высокой степенью биодоступности. Несмотря на многие опубликованные результаты исследований по влиянию наноразмерного ZnO на различные сельхозкультуры, вопрос о влиянии метода синтеза этого наноматериала на его биохимическую ростостимулирующую активность остается слабоизученным.

Нами было исследовано ростостимулирующее влияние образцов наночастиц ZnO различных методов синтеза на процессы роста растений томата сорта «Ранняя пташка» при выращивании из семян. Исследование производилось для образцов, внесенных в грунт наноматериалов ZnO как на перлитных, так и на земляно-торфяных субстратах с использованием универсального микроэлементного раствора Чеснокова-Базыриной. Измерялись морфологические характеристики растений томата с момента появления первых листьев и до 40 дней выращивания. Измеряли изменение уровней хлорофилла в листьях методом спектроскопии диффузного светоотражения, а также проводилось исследование содержания общей и связанной воды в листьях растений томата методами термогравиметрии и КР-спектроскопии.

Обнаружено, что биохимическая активность образцов наноматериалов ZnO довольно сильно зависит от его метода. Так, она уменьшается в ряду методов: электроплазменный > гидротермальный > золь-гель пирохимический > золь-гель осадительный. Все исследованные образцы наноматериалов ZnO интенсифицировали с разной эффективностью рост томата и показывали выраженный фунгицидный эффект. Наибольшее влияние наночастицы ZnO оказывали на количество листьев и форму листьев, на скорость роста стебля. Содержание воды в листьях, обработанных наночастицами ZnO, растений томата было на 2.5-3.5% ниже уровня для контрольных растений, а содержание хлорофилла значительно выше − до 15-18%.

Мы предполагаем, что влияние метода синтеза на агрономические свойства исследованных образцов наноматериалов ZnO связано с влиянием размера наночастиц, степенью активности их поверхности и фотокаталитическими характеристиками.

БЕСХРОМАТНАЯ ПАССИВАЦИЯ ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ В Ti, Zr-СОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРАХ

***Дидык А.А.*, Сухорукова В.А., Лактюшина Д.П., Абрашов А.А.**

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,

Москва, Россия

aabrashov@muctr.ru

Наиболее распространенным способом повышения коррозионной стойкости цинковых покрытий до настоящего времени остается их пассивирование в растворах на основе соединений шестивалентного хрома, которые весьма токсичны и канцерогенны законодательно запрещены в ряде стран, например, в медицинских изделиях, электронике, машиностроении [1].

Настоящая работа посвящена получению защитных конверсионных покрытий из растворов на основе гексафторциркониевой и гексафтортитановой кислот на образцах горячеоцинкованной стали.

Исследовано влияние различных органических добавок на защитную способность формирующихся покрытий.

Установлено, что совместное добавление в рабочий раствор на основе H_2ZrF_6, H_2TiF_6 и $Ni(NO_3)_2$ моноэтаноламина в количестве 1,5 г/л, аминопропилтриэтоксисилана 0,1 г/л и бутилцеллозольва 1 г/л способствовало значительному возрастанию защитной способности формирующихся покрытий.

Установлено, что толщина цирконийсодержащих покрытий составляет ~150 нм, что меньше толщины хроматных покрытий, которая может достигать 1000 нм.

Методом нормального отрыва и решетчатого надреза была определена прочность сцепления ЛКП с поверхностью оцинкованной стали в сочетании с различными адгезионными покрытиями. Установлено, что наибольшая прочность сцепления достигается при использовании подслоя, осажденного из раствора с органическими добавками.

Коррозионные испытания в камере соляного тумана таких же образцов, окрашенных полиэфирной порошковой краской марки Ecocolor ПЭ RAL 9016/P показали, что разработанные покрытия по защитной способности удовлетворяют предъявляемым к адгезионным слоям требованиям, поскольку глубина проникновения коррозии под ЛКП от места надреза в этих случаях не превышает 2,0 мм после 500 часов испытаний, что удовлетворяет требованиям международных стандартов ISO 9227 и ASTM D 1654-08.

Таким образом, полученный раствор для обработки оцинкованной стали перспективен для внедрения в качестве замены процесса хроматирования.

Список литературы

1. *Гарднер А., Шарф Д.* // Гальванотехника и обработка поверхности. 2002. Т. 10. № 4. С. 39-45.

О МЕХАНИЗМЕ ТВЕРДОФАЗНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ Eu_2MeO_6, $Eu_2Me_2O_9$ (Me – Mo, W)

Жованик Ю.В., ***Волгина Л.О., Денисенко Ю.Г.***

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень

y.v.zhovanik@utmn.ru

Исследовано термическое и фазовое поведение оксида европия с оксидами молибдена и вольфрама в молярных соотношениях $1Eu_2O_3$:$1MeO_3$ и $1Eu_2O_3$:$2MeO_3$ (Me – Mo, W). Данные, полученные из термического и рентгеновского фазового анализа, указывают на то, что механизм, лежащий в основе образования фаз в твердотельных процессах, соответствует модели Вагнера [1]. Схема последовательного образования слоёв в результате ионной диффузии представлена на рис. 1.

Отсутствие диффузионно-барьерного слоя при диффузии ионов Me^{6+} определяет сравнительно низкие значения энергии активации, что существенно облегчает взаимодействие в системе. Поскольку скорость реакции лимитируется диффузией ионов через слой образующихся продуктов, то последовательное образование двух диффузионных барьерных слоев, которое происходит при диффузии ионов Eu^{3+}, является лимитирующим фактором, приводя к увеличению температурно-временного интервала, необходимого для достижения фазового равновесия в системе.

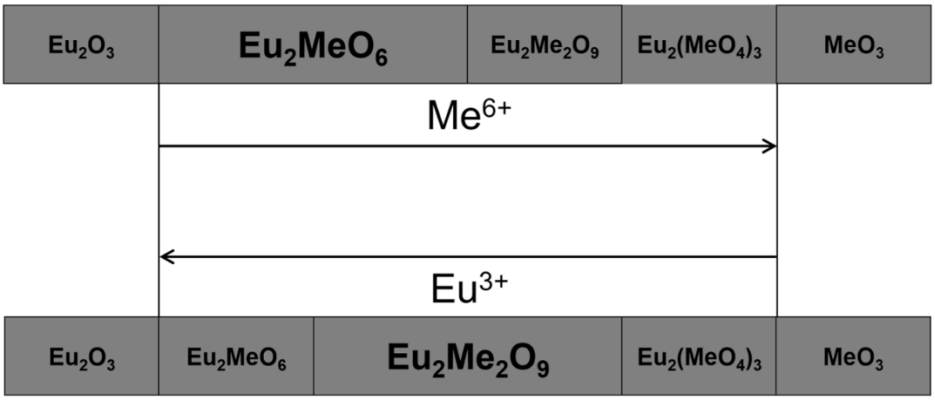


Рисунок 1. Предполагаемый механизм взаимодействия в системах $1Eu_2O_3$:$1MeO_3$ и $1Eu_2O_3$:$2MeO_3$

В отличие от соединений Eu_2MeO_6 (Me – Mo, W), которые демонстрируют температурный интервал образования около 110-120°C, образование $Eu_2W_2O_9$ происходит в узком диапазоне около 10°C. Для этой реакции характерны аномально высокие значения как энергии активации, так и предэкспоненциального множителя (Табл. 1). Скорость взаимодействия определяется встречной диффузией ионов, которая происходит в обоих направлениях и образует единый диффузионный барьерный слой. Перестройка слоев диффузионного барьера из-за продолжающейся диффузии в итоге

приводит к образованию $Eu_2W_2O_9$. Этот процесс связан со значительными энергетическими проблемами, на что указывает значение энергии активации. Однако последовательная двухступенчатая диффузия ионов эффективно компенсирует эти энергетические трудности, о чем также свидетельствует существенно возросшее значение предэкспоненциального множителя.

Предложенный механизм формирования фаз включает процессы диффузии ионов и хорошо согласуется с экспериментальными данными. Исследование подчеркивает различия в энергиях активации и скоростях реакции между системами $1Eu_2O_3$:$1MeO_3$ и $1Eu_2O_3$:$2MeO_3$. Сложное взаимодействие в системе $1Eu_2O_3$:$2MeO_3$ характеризуется высокими энергиями активации и быстрым фазообразованием, что подчеркивает роль встречной диффузии ионов в определении кинетики реакции.

Таблица 1. Температурные, термодинамические и кинетические параметры образования соединений Eu_2MeO_6 (Me – Mo, W) и $Eu_2W_2O_9$.

Исходный состав	Продукт реакции	Диапазон температур реакции, °C	ΔH, кДж/моль	Кинетические параметры		
				Уравнение Киссинджера		Уравнение Озавы-Дойла
				E_A, кДж/моль	A	E_A, кДж/моль
$1Eu_2O_3$:$1MoO_3$	Eu_2MoO_6	1010-1125	-37	500	$4 \cdot 10^{16}$	456
$1Eu_2O_3$:$1WO_3$	Eu_2WO_6	945-1065	-32	233	$3 \cdot 10^{6}$	245
$1Eu_2O_3$:$2MeO_3$	$Eu_2W_2O_9$	1035-1045	-24	6250	$6 \cdot 10^{247}$	5947

Список литературы

1. *Merkle R., Joachim M.* //Angew Chem Int Ed. 2008. Vol. 47. N 21. P. 3874-3894. DOI: 10.1002/anie.200700987

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ИНДИЯ-ГАЛЛИЯ-ЦИНКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

***Зирник Г.М.*, Чернуха А.С., Винник Д.А.**

МФТИ, Физтех, Долгопрудный

zirnik.gm@mipt.ru

Применение IGZO (In-Ga-Zn-O) как полупроводника в тонкоплёночном транзисторе на твёрдой подложке было продемонстрировано более 20 лет назад в пионерской работе Номуры и его коллег. Позднее с применением IGZO был изготовлен и гибкий транзистор, что далее стимулировало бурное развитие направления печатной электроники. Данное направление по исследованию и получению полупроводниковых материалов является актуальным, поскольку имеет потенциал к расширению области применения микроэлектронных устройств и значительному удешевлению технологии по сравнению с кремниевой технологией.

В рамках работы лаборатории полупроводниковых оксидных материалов (МФТИ, Физтех) для получения наночастиц IGZO был апробирован ряд синтетических подходов: метод горения геля с различными комплексообразователями, синтез в обратных мицеллах, твердофазный синтез с дальнейшим измельчением. Метод горения геля был оптимизирован, для него найдены наиболее подходящие комплексообразователи: этиленгликоль, глицерин и винная кислота [1]. Одно из преимуществ методики – возможность получения аморфного материала при температурах около 300…500 °C (6…12 часов), а также высококристаллического при термической обработке до 900 °C (в течение 6 часов) (Рис. 1а). Несмотря на то, что метод горения геля позволяет получить наночастицы в виде их агломератов (Рис. 2а), дальнейшая работа по получению разделённых, неагрегированных наночастиц в коллоидном растворе затруднена в силу отсутствия оформленной морфологии наночастиц, сохранения большого количества крупных агрегатов и низкого содержания наноразмерной фракции.

Метод обратных мицелл был применён как для получения индивидуальных оксидов металлов [2], так и для синтеза образцов тройной системы. Метод позволил получить истинные наноразмерные частицы. На рис. 2б представлен образец IGZO с составом In^{3+}:Ga^{3+}:Zn^{2+} = 74 / 20 / 6 (ат.%) по данным энерго-дисперсионной спектроскопии (изначально заданный состав In^{3+}:Ga^{3+}:Zn^{2+} = 65 / 15 / 20). Как видно из приведённого рисунка, для данного метода синтеза характерны отдельные наночастицы с размерами около 50…100 нм. Примечательно, что варьирование параметров синтеза, таких как состав органической фазы, отношение объёмов органической и водной фаз, параметра W (отношения чисел моль H_2O и ПАВ-а), а также количества добавленного осадителя (аммиака), позволяет получать материал с различным размером частиц, морфологией и степенью кристалличности. Порошкообразные образцы

были характеризованы методами РФА (рис.1), СЭМ (рис.2), ПЭМ, ЭДС, ИК- и УФ-спектроскопии.

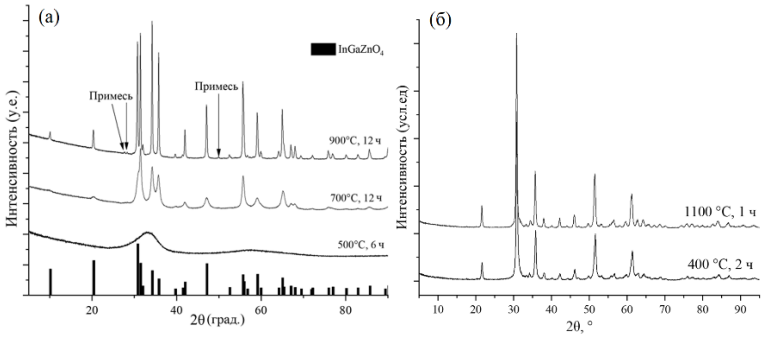


Рисунок 1. Дифрактограмма образца $InGaZnO_4$, полученного методом горения геля с этиленгликолем [1] (а), дифрактограмма образца IGZO, полученного в обратных мицеллах (состав образца указан в тексте) (б)

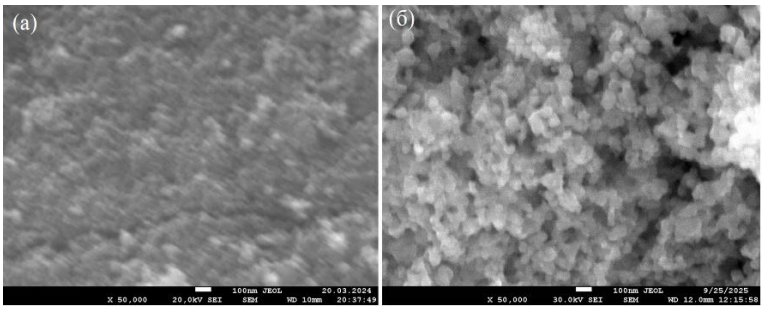


Рисунок 2. IGZO состава $InGaZnO_4$, полученный методом горения геля при температуре 500°C (а), полученный методом обратных мицелл при температуре 1100°C (состав образца указан в тексте) (б)

Также был апробирован синтез материала методом твердофазной реакции с его помолом в бисерной мельнице. Сочетание технологических этапов подготовки порошка обеспечивает достаточно хороший выход нанофракции (до 10 масс. %). Однако, применение контактного метода измельчения является потенциальным источником загрязнения порошка материалом мелющих тел. Метод же твердофазного синтеза может быть использован при получении определенного диапазона составов IGZO для создания мишеней для последующего распыления и изготовления плёнок, в том числе магнетронным методом.

Список литературы

1. *Zirnik G.M., Chernukha A.S., Uchaev D.A.* // Nanosystems: Phys., Chem. 2024. Vol. 15. N. 29. P. 520. DOI: 10.17586/2220-8054-2024-15-4-520-529
2. *Chernukha A.S., Zirnik G.M., Matveev K.V. Boleiko Y.V., Markin T.A., Anannikov E.S., Loshkarev A.A., Gudkova S.A., Vinnik D.A.* // J. Struct. Chem. 2025. Vol. 66, P. 569. DOI: 10.1134/S0022476625030138

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда научных исследований (синтез материалов твердофазным методом и их характеризация) (проект 24-19-00468)

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАМЕСТИТЕЛЯ В АЗОМЕТИНОВОМ ФРАГМЕНТЕ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ(II) С СЕМИКАРБАЗОНАМИ НА ИХ КАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ В РЕАКЦИИ СУЗУКИ-МИЯУРЫ

***Игонин А.С.*[1], *Чернова У.Д.*[1], *Левченко Д.С.*[1], *Байчурин Р.И.*[1], *Годовиков И.А.*[2], *Исаева Е.И.*[1]**

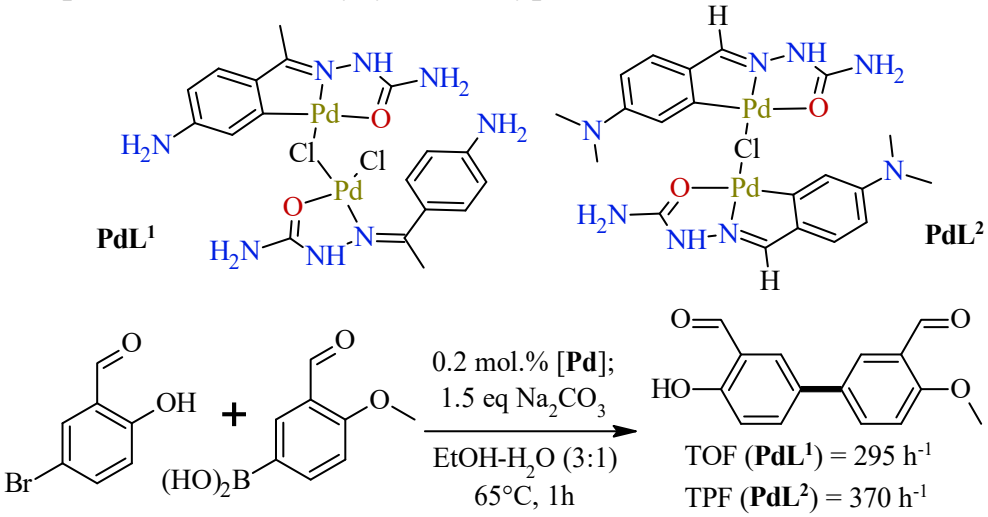
[1]*РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург*

[2]*ИНЭОС им. А. Н. Несмеянова РАН, Москва*

as@igonin-02.ru

Комплексы палладия(II) с основаниями Шиффа, к которым также относятся семикарбазоны, находят широкое применение в катализе различных реакций, демонстрируя возможность способствовать образованию новых C-C [1], C-O [2] связей, а также участвуя в реакциях водородного трансфера [3]. Активное применение данных соединений в металлокомплексном катализе обуславливает актуальность исследований каталитической активности координационных соединений палладия(II), в частности, комплексов с семикарбазонами.

Для изучения влияния заместителей на эффективность катализа координационные соединения палладия(II) с (2*E*)-2-[1-(4-аминофенил)этилиден]гидразин-1-карбоксамидом (**PdL**[1]) и с (2*E*)-2-{[4-(диметиламино)фенил]метилиден}гидразин-1-карбоксамидом (**PdL**[2]) ввели в реакцию C-C кросс-сочетания Сузуки-Мияуры.



Строение комплексов подтверждено рядом физико-химических методов исследования, включающего ИК-, УФ/видимую- и ЯМР-спектроскопию (^{1}H, ^{13}C, HMBC, HMQC, NOESY), а также масс-спектрометрию. Комплекс **PdL**[1] выделен в виде смеси двух диастереомеров, что подтверждается проявлением диастереотопии в ^{1}H спектрах ЯМР. Соотношение диастереомеров в смеси может быть изменено при варьировании условий синтеза. Так, использование $[Pd(CH_3CN)_2Cl_2]$ в качестве прекурсора палладия(II) и ацетата натрия в качестве

основания, приводит к практически полному обращению минорного диастереомера в мажорный.

Рассмотрено влияние метильного заместителя при азометиновом фрагменте семикарбазонового лиганда, а также количества катализатора, времени, температурного режима реакции и природы основания на эффективность катализа. Наибольшие выходы целевого бифенила получены в среде этанол-вода (3:1), температуре 65°C и с использованием карбоната натрия (для **PdL^2**) или ортофосфата натрия (для **PdL^1**) в качестве основания. Стоит отметить, что оба комплекса являются прекатализаторами и участвуют в реакции Сузуки-Мияуры по пути Pd(II)-Pd(0)-Pd(II), восстанавливаясь фенилборат-ионом с образованием каталитически активных форм. При этом оптимизация условий показала, что практически во всех случаях, увеличение диэлектрической проницаемости (toluene < 1,4-Dioxane < Ethanol < H_2O) и донорного числа Гутманна (toluene < 1,4-Dioxane < H_2O < Ethanol) органического компонента смеси растворителей приводит к увеличению выходов целевого бифенила. Уменьшение количества катализатора в 10 раз (табл. 1) в случае обоих катализаторов приводит к увеличению выхода целевого продукта, что вероятно обусловлено уменьшением скорости агрегации наночастиц палладия, образующихся в ходе реакции.

Таблица 1. Влияние времени и загрузки катализатора на выход бифенила

№	Catal.	mol.%	Base	Solvent	τ, h	t, °C	Yield, %	TOF, h^{-1}
1		2	Na_2CO_3	EtOH-H_2O (3:1)	**1**	65	53	27
2	**PdL^1**	**0.2**	Na_2CO_3	EtOH-H_2O (3:1)	6	65	70	**58**
3		**0.2**	Na_2CO_3	EtOH-H_2O (3:1)	**1**	65	59	**295**
4		2	Na_2CO_3	EtOH-H_2O (3:1)	**1**	65	**85**	**43**
5	**PdL^2**	**0.2**	Na_2CO_3	EtOH-H_2O (3:1)	6	65	**97**	**81**
6		**0.2**	Na_2CO_3	EtOH-H_2O (3:1)	**1**	65	74	**370**

Несмотря на то, что оба комплекса демонстрируют относительно высокую каталитическую активность, наиболее эффективным катализатором выступает **PdL^2**, не имеющий объемных заместителей вблизи каталитического центра.

Список литературы

1. *Sedighipoor M., Kianfar A. H., Mohammadnezhad G., Görls H., Plass W.* // Inorg. Chim. Acta. 2018. Vol. 476. P. 20. DOI: 10.1016/j.ica.2018.02.007
2. *Sharma A. K., Joshi H., Bhaskar R., Kumar S., Singh A. K.* // Dalton Trans. 2017. N 8. P. 2485. DOI: 10.1039/C7DT00083A
3. *Dubey P., Gupta S., Singh A. K.* // Organometallics. 2019. Vol. 38. N. 4. P. 944. DOI: 10.1021/acs.organomet.8b00908.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛОГЕННЫХ СВЯЗЕЙ В СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ АДДУКТОВ *БИС*-ИЗОЦИАНИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ(II) $[PtI_2(CNR)_2]$ С МОЛЕКУЛЯРНЫМ ИОДОМ

***Комова П.В.*, Кинжалов М.А.**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

st106277@student.spbu.ru

Галогенная связь (ГС) представляет собой направленное нековалентное взаимодействие между электрофильным донором (σ-дырка на атоме галогена) и нуклеофильным акцептором, которым может выступать, в том числе, другой атом галогена с более высоким электростатическим потенциалом.

В данной работе изучены аддукты комплексов платины(II) $[PtI_2(CNR)_2]$ с молекулярным иодом. Коричневые кристаллы *транс*-$[PtI_2(CNC_6H_4\text{-}F\text{-}4)_2]\cdot 2I_2$, *транс*-$[PtI_2(CNC_6H_4\text{-}Cl\text{-}4)_2]\cdot I_2$ и *транс*-$[PtI_2(CNC_6H_4\text{-}Br\text{-}4)_2]\cdot 2I_2$ были получены медленным выпариванием соответствующих растворов в CH_2Cl_2. Рентгеноструктурный анализ подтвердил образование направленных нековалентных контактов между атомом иода молекулы I_2 и координированным иодид-лигандом комплекса. Во всех случаях длина контакта I–I···I–Pt не превышает 87% от суммы ван-дер-ваальсовых радиусов (по Бонди), а угол ∠I–I···I близок к линейному. Данные геометрические параметры удовлетворяют критериям ИЮПАК для идентификации галогенной связи, где молекулярный иод выступает в качестве электрофильного центра. В кристаллической структуре молекула I_2 функционирует как бифункциональный донор ГС, а комплекс платины — как бифункциональный акцептор, что приводит к образованию одномерных цепочечных или сетчатых супрамолекулярных архитектур.

Парадоксальное поведение наблюдалось при взаимодействии иода с комплексами, содержащими алкильные изоцианидные лиганды: *транс*-$[PtI_2(CNCy)_2]$ и *транс*-$[PtI_2(CN^tBu)_2]$. В данных условиях происходит окислительное присоединение I_2 к центру платины с образованием комплексов Pt(IV): индивидуального соединения *транс*-$[PtI_4(CNCy)_2]$ и аддукта *транс*-$[PtI_4(CNtBu)_2]\cdot 2I_2$ [1]. Ключевой особенностью кристаллических структур данных продуктов является амфифильная роль иодидных лигандов в образовании ГС. Каждый комплекс связан галогенными связями с четырьмя соседними молекулами: два иодид-лиганда выступают донорами ГС (σ-дырка на I), а два других — акцепторами. Длины контактов Pt–I···I–Pt составляют 98% от суммы ван-дер-ваальсовых радиусов при углах ∠Pt–I···I, близких к 180°. Такое поведение, при котором анионный галоген проявляет выраженные

электрофильные свойства и выступает донором ГС, является нетипичным. Резкая электрофильная активация иодид-ионов обусловлена изменением степени окисления центрального атома платины до +4, что приводит к существенному перераспределению электронной плотности в системе Pt–I.

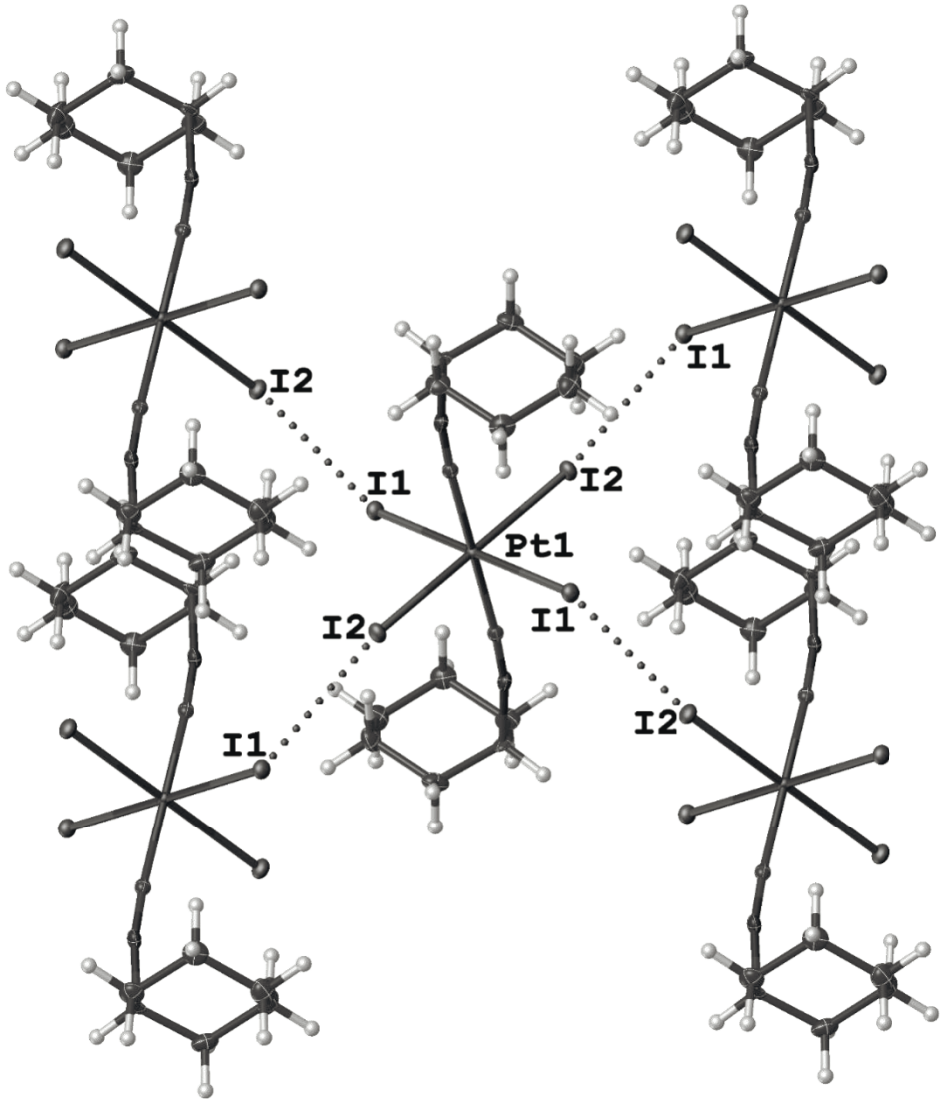


Рисунок 1. Сумрамолекулярная струкутра *транс*-[$PtI_4(CNCy)_2$].

Список литературы

1. *Komova P. V., Kostareva M. B., Ivanov D. M., Ananyev I. V., Dubasova E. V., Burguera S., Frontera A., Kinzhalov M. A., Kukushkin V. Y.* Inorg. Chem. 2025. Vol 64. N.51. P. 25161. DOI:10.1021/acs.inorgchem.5c04227

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-13-20028) и с использованием оборудования Научного парка СПбГУ.

СОЛЬВОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ Eu_2MeO_6 (Me = Mo, W)

Кузнецова С.А., Жованик Ю.В.

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень

s.a.kuznetsova@utmn.ru

Сложные соединения редкоземельных и переходных металлов, в частности бинарные системы Ln_2O_3–MeO_3 (Me = Mo, W), привлекают особый интерес благодаря электронным и оптическим свойствам. Традиционный твердофазный синтез соединений в этих системах из оксидов Ln_2O_3 и MeO_3 (Me = Mo, W) требует высоких температур (> 800 °C) и ограничен медленной диффузией реагентов [1, 2].

В данной работе предложен сольвотермальный метод получения Eu_2MeO_6 из этиленгликолевых растворов $Eu(NO_3)_3$ и Na_2MoO_4. Стехиометрические смеси растворов помещали в автоклав и выдерживали при 150 °C в течение 24 ч. После завершения реакции осадок фильтровали, промывали дистиллированной водой и абсолютным этанолом. Результаты рентгенофазового анализа показали, что первичный продукт синтеза представляет собой рентгеноаморфную фазу. Процесс кристаллизации, установленный методом дифференциального термического анализа (ДТА), наблюдается при температуре ~ 400–420 °C.

Результаты растровой электронной микроскопии (РЭМ) (рис. 1) подтвердили отсутствие четкой кристаллической структуры для первичных продуктов синтеза, тогда как образцы, отожженные при температуре 450 °C, образованы отдельными зернами размером 0,5–2 мкм, в структуре которых прослеживается огранка и моноклинная структура.

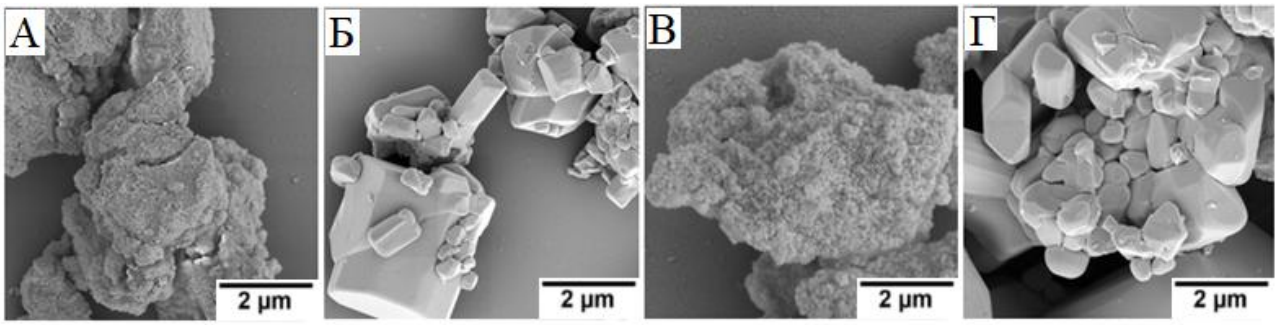


Рисунок 1. РЭМ-изображения образцов Eu_2MoO_6 (А – высушенный, Б – отожжённый) и Eu_2WO_6 (В – высушенный, Г – отожжённый).

Список литературы

1. *Baldin E., Lyskov N., Vorobieva G., Kolbanev I., Karyagina O., Stolbov D., Voronkova V., Shlyakhtina A.* // Energies. 2023. Vol. 16. N 15. P. 5637. DOI: 10.3390/en16155637
2. *Orlova E.I., Morkhova Y.A., Egorova A.V., Kharitonova E.P., Lyskov N.V., Voronkova V.I., Kabanov A.A., Veligzhanin A.A., Kabanova N.A.* // JPCC. 2022. Vol. 126. N 23. P. 9623-9633.

ТРАНСПОРНТНЫЕ СВОЙСТВА САМОГЕНЕРИРУЮЩЕГОСЯ КОСПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА БАРИЯ

***Кузнецова П.С.*[1,2], *Тарутина Л.Р.*[1,2], *Медведев Д.А.*[1,2]**

[1]*Уральский федеральный университет, Екатеринбург*

[2]*ИВТЭ УрО РАН, Екатеринбург*

lina.kuznetsova.00@list.ru

Протонно-керамические топливные элементы обеспечивают высокоэффективное электрохимическое преобразование энергии. Они работают в среднетемпературном диапазоне, что, однако, приводит к замедленной кинетике электродных реакции. Поэтому необходим поиск новых материалов с повышенной активностью. Одним из подходов решение является использование композитного материала с тройной проводимостью на основе Ce-допированного феррита бария. В научной литературе изучались функциональные характеристики композитов с номинальным составом $BaCe_{0.5}Fe_{0.5}O_{3-\delta}$. Однако эти исследования не дают полного понимания того, как температура спекания влияет на транспортные свойства. Поэтому целью настоящей работы было изучить влияние температуры спекания на транспортные свойства композитной керамики на основе $BaCe_{0.5}Fe_{0.5}O_{3-\delta}$.

Композитный материал $BaCe_{0.5}Fe_{0.5}O_{3-\delta}$ был синтезирован цитратно-нитратным методом. Начальный отжиг сложных оксидов проводили при температуре 1100 °C в течение 3 ч. После этого полученный порошок прессовали и повторно спекали в диапазоне температур от 1100 до 1350 °C. Затем партию керамических таблеток измельчали, прессовали и спекали при 1100 °C в течение 5 ч. Методом рентгенофазового анализа установлено, что все исследованные образцы показывают наличие двух фаз в исследуемом диапазоне температур (см. рисунок 1а). Ce-обогащенная фаза имеет ромбическую структуру типа перовскита, а Fe-обогащенная фаза характеризуется кубической структурой типа перовскита. Образование Ce- и Fe-обогащенных фаз происходит самопроизвольно из-за значительной разницы в ионных радиусах церия и катионов железа. Согласно результатам рентгенофазового анализа вторичная термическая обработка не приводит к появлению примесных фаз (см. рисунок 1б). С помощью метода Ритвельда определены параметры элементарных ячеек (ПЭЯ). Обнаружено, что как первичное, так и вторичное спекание образцов не оказывает влияния на ПЭЯ. В композите соотношение фаз, обогащенных церием и железом, составляет примерно 50:50, что указывает на близкую границу растворимости церия в феррите бария и железа в церате бария.

Температурная зависимость проводимости для всех исследованных материалов показала схожую картину: сначала наблюдался рост, а затем снижение при температуре около 500 °C. Эти значения хорошо согласуются с литературными данными [1], что позволяет предположить, что одновременное

восстановление ионов железа сопровождается уменьшением концентрации основных носителей заряда – дырок. Для первично спеченных композитов (см. рисунок 2а) проводимость увеличивается с ростом температуры спекания от 1100 до 1300 °C, после чего происходит ее снижение, что, вероятно, связано с образованием множества трещин в образце BCF1350. Вторично спеченные материалы демонстрируют иную тенденцию (см. рисунок 2б): при низких температурах их проводимость остается практически неизменной, но с увеличением температуры первичного спекания она постепенно уменьшается в диапазоне высоких температур.

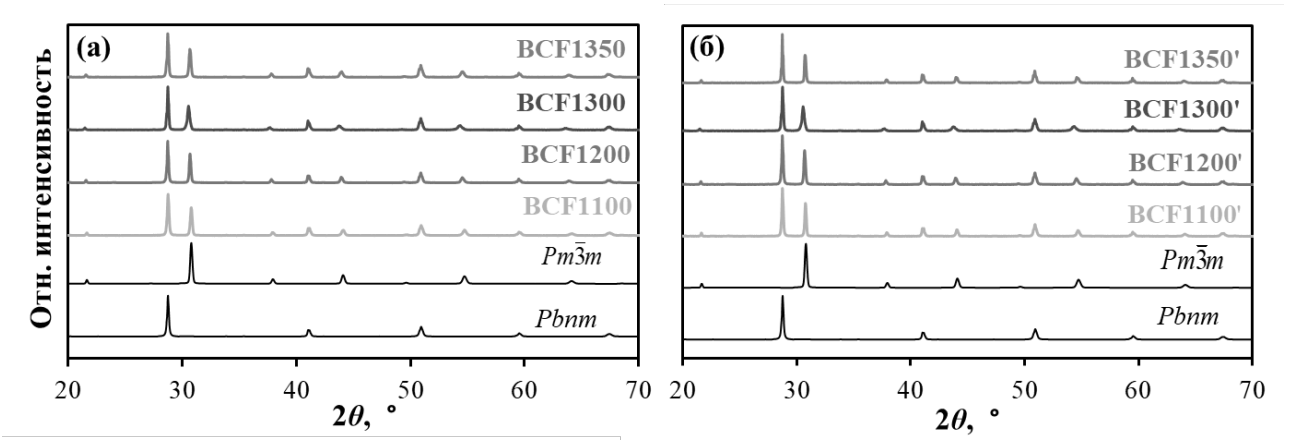


Рисунок 1. Дифрактограммы керамических образцов состава $BaCe_{0,5}Fe_{0,5}O_{3-\delta}$, полученные после первичного (а) и вторичного спекания при температуре 1100 °C (б)

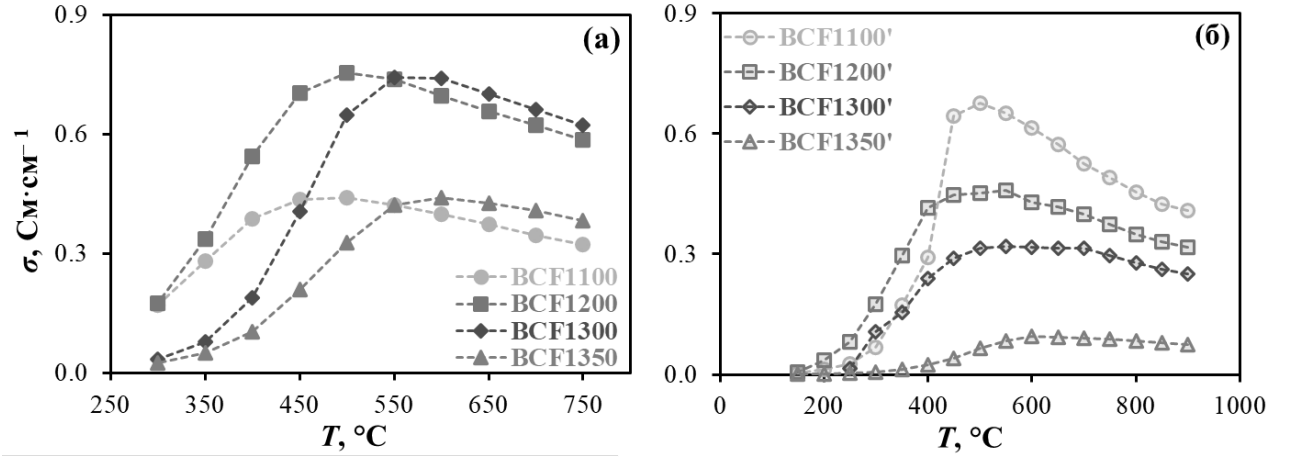


Рисунок 2. Температурная зависимость общей проводимости керамических образцов $BaCe_{0.5}Fe_{0.5}O_{3-\delta}$ после первичного (а) и вторичного (б) спекания

Список литературы

1. *Tarutina L.R., Kuznetsova P.S, Skutina L.S., Murashkina A.A., Medvedev D.A.* // Ceram. Int. 2025. Vol. 51 P. 3471–3481. DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.11.324

Работа выполнена в рамках бюджетного направления лаборатории водородной энергетики (FEUZ-2024-0009).

СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА КОМПЛЕКСА ПАЛЛАДИЯ(II) С (2*E*)-2-[1-(4-АМИНОФЕНИЛ)ЭТИЛИДЕН]ГИДРАЗОН-1-КАРБОТИОАМИДОМ

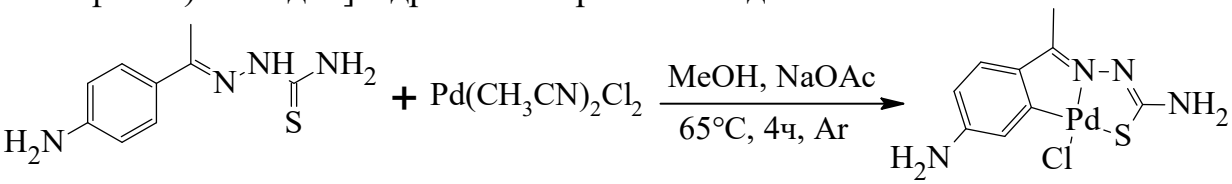
***Левченко Д.С.*, Игонин А.С., Байчурин Р.И., Исаева Е.И.**

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

daralevcenko71506@gmail.com

Тиосемикарбазоны – перспективный класс полидентатных лигандов для получения устойчивых хелатных плоскоквадратных координационных соединений палладия(II), что обусловлено их структурной жесткостью и способностью к координации через атомы азота и серы [1]. В связи с этим синтез координационных соединений тиосемикарбазонов с Pd(II), а также изучение их состава, строения и свойств представляет собой актуальную задачу современной неорганической и координационной химии.

Целью работы является синтез, структурная характеристика и исследование каталитической активности комплекса Pd(II) на основе производного тиосемикарбазона. Комплекс палладия(II) получен при взаимодействии диацетонитрилдихлоропалладия с (2*E*)-2-[1-(4-аминофенил)этилиден]гидразон-1-карботиоамидом по схеме:



Состав координационного соединения подтвержден комплексом физико-химических методов: ИК-, УФ/видимой спектроскопией, а также спектроскопией ЯМР (^{1}H, ^{13}C, HMQC, HMBC, NOESY). В протонном спектре комплексного соединения наблюдается переход структуры лиганда от тиона к тиолу, с последующим депротонированием SH-группы при координации, о чем свидетельствует исчезновение сигнала NH-протона (при 9.931 м.д. в спектре лиганда). Также наблюдается уменьшение интегральной интенсивности орто-протонов бензольного кольца вследствие депротонирования с образованием связи C^{2}-Pd.

Каталитическая активность полученного комплекса была продемонстрирована на примере реакции Сузуки-Мияуры, при использовании различных сочетаний растворителей, оснований, а также при варьировании температурного режима реакции.

Список литературы

1. *Mansour A.M., Khaled R.M., Radacki K., Shehab O.R., Mostafa G.A.E., Ali E.A., Abo-Elfadl M.T.* // Chem. Biodiversity. 2024. Vol. 21. Art. e202400363. DOI: 10.1002/cbdv.202400363.

КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ НОВЫХ ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ БЁМИТА

Оботнина М.А.[1], Маркарян А.А.[1,2], Соколов И.А.[2], Бобрышева Н.П.[1], Осмоловский М.Г.[1], Осмоловская О.М.[1], Вознесенский М.А.[1]

[1]СПбГУ, Санкт-Петербург

[2]СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург

art.markarian@mail.ru

Современные неорганические пигменты обладают рядом существенных недостатков, формирующих ограничения для их использования. Растущие требования к экологичности, безопасности и функциональности приводят к развитию нового подхода – созданию пигментов нового поколения. Его суть заключается в переходе от использования чистых окрашенных соединений к разработке композитных или смешанных систем.

В качестве перспективной матрицы может быть использован бёмит (γ-AlOOH) – материал, отличающийся биосовместимостью и устойчивостью к воздействию окружающей среды. В качестве окрашивающего центра в такую матрицу можно ввести ионы железа (Fe^{3+}), способные формировать интенсивную окраску материала в жёлто-красной области спектра.

Наночастицы синтезировали гидротермальным методом. Для получения частиц различной морфологии варьировали тип основания и pH реакционной среды. По данным РФА основной фазой во всех четырех образцах является бёмит. На ИК-спектрах наблюдаются характерные полосы валентных (Al)O-H (3100–3300 $см^{-1}$) и деформационных колебаний AlO_6 (485–744 $см^{-1}$). По данным ПЭМ-микроскопии было установлено, что все наночастицы имеют пластинчатую форму и размеры до 100 нм. При повышении pH их размер увеличивается, а сила основания влияет на огранку частиц. Анализ супернатантов образцов после синтеза методом АЭС-ИСП показал количественное внедрение допанта в структуру бёмита.

Для изучения оптических свойств полученного материала были сняты спектры поглощения и отражения. Их обработка позволила оценить энергии прямых и непрямых переходов в зонной структуре образцов. Методом DFT была рассчитана ширина запрещенной зоны с применением различных базисов GGA-PBE, PBE0 и HSE06 для различных положений допанта в кристаллической решетке.

С помощью колориметра были сняты цветовые координаты образцов в модели Lab. Установленная взаимосвязь между кристаллической структурой и цветом пигмента позволит получать желаемые оттенки без использования вспомогательных веществ.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО ФОСФОРА В ВОДЕ И В ЭТАНОЛЕ

Мирзаалиев Т.О., ***Занин А.А.***

РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва

timurmirz29@gmail.com

Традиционные подходы к синтезу полимерных форм фосфора характеризуются такими условиями, как высокая температура и давление, а также низкой селективностью и ограниченным контролем структуры продукта. В связи с этим актуальным представляется разработка и исследование альтернативных методов полимеризации фосфора, в частности, электронно-лучевой полимеризации. Параметры процесса полимеризации в значительной степени определяются составом реакционной среды. В связи с этим выявление закономерностей, связывающих состав среды с особенностями процесса полимеризации, необходимо для понимания параметров процесса. Ранее проведенные исследования процессов полимеризации элементного фосфора дают основание предполагать, что механизм полимеризации реализуется посредством инициирования молекулярного фосфора активными частицами, образующимися при радиолизе среды, причём в дальнейшем эти частицы могут взаимодействовать с растущей цепью полимерного фосфора, вызывая её обрыв [1]. Для изучения данного вопроса было проведено исследование полимеризации элементного фосфора в органической среде, в качестве которой был использован этиловый спирт (96 %).

В ходе экспериментов образцы очищенного белого фосфора массой 2.5–3.0 г помещали в этанол. Образцы облучали пучком ускоренных электронов на радиационно-технической установке LINS-02-500 с энергией электронов 3 МэВ (Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН), поглощенная доза составила 200–1000 кГр. После облучения образцы очищались в экстракторе Сокслета от оставшегося непрореагировавшего элементного фосфора. На основании данных о массе очищенных образцов синтезированных фосфорсодержащих полимеров были определены значения конверсии фосфора и радиационно-химического выхода (РХВ) полимеризации элементного фосфора. В среде этанола конверсия составила 10 %, что меньше значений, полученных ранее в водной среде (15 %). РХВ для этилового спирта (96%) составил G = 7 1/100 эВ, что также меньше полученных ранее значений для водной среды (G = 10 1/100 эВ). Полученные результаты свидетельствуют о том, что скорость полимеризации, инициированной пучком ускоренных электронов, в среде этанола (96 %) незначительно снижается по сравнению со скоростью процесса в водной среде.

Список литературы

1. *Tarasova N., Zanin A., Krivoborodov E., Karavaev S., Ksenofontov N., Ivanov A.* // J. Solution Chem. 2026. V. 55. P. 130-137. DOI: 10.1007/s10953-025-01482-z

η^5:κ^2(N, R)-КООРДИНИРОВАННЫЕ ПОЛУСЭНДВИЧЕВЫЕ КОМПЛЕКСЫ НИКЕЛЯ С ПРОИЗВОДНЫМИ *нидо*-КАРБОРАНА: РОЛЬ ДОНОРНОЙ ГРУППЫ В ФОРМИРОВАНИИ КООРДИНАЦИОННОЙ СФЕРЫ

***Пахолков К.Р.*[1,2], Богданова Е.В.[1], Стогний М.Ю.[1], Сиваев И.Б.[1]**

[1]*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия*
[2]*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, высший химический колледж РАН, Москва, Россия*

kirillpakholkov2003@gmail.com

7,8-Дикарба-*нидо*-ундекаборатный анион (*нидо*-карборан) – один из представителей обширного класса полиэдрических гидридов бора. Модификация его каркаса представляет собой важнейший инструмент для получения целевых соединений с заданными свойствами. В отличие от своих *клозо*-аналогов, реакционная способность *нидо*-карборана ограничена борными вершинами верхнего пояса, что, однако, не препятствует синтезу широкого спектра производных [1].

За счет своей открытой структуры *нидо*-карборан может выступать в качестве лиганда, связывающего металл по механизму η^5 -связывания. Наличие бокового заместителя, содержащего донорные группы способно влиять на координационные возможности *нидо*-карборанового лиганда и приводить к получению металлокомплексов необычного строения. Ранее было показано, что использование замещенных *нидо*-карборановых производных приводит к образованию комплексов, в которых лиганд координируется с металлом не только по открытой пентагональной грани борного фрагмента, но и с донорными группами бокового заместителя [2-4].

Целью данной работы являлось изучение влияния бокового заместителя *нидо*-карбораниламидинов, содержащего донорные атомы, на строение образующихся комплексных соединений.

Синтез ряда амидинов на основе *нидо*-карборана с донорными заместителями (R = OMe, SMe, NMe_2, PPh_2) проводили посредством реакций присоединения соответствующих первичных аминов к 10-ацетонитрилиевому производному *нидо*-карборана 10-MeC≡N-7,8-$C_2B_9H_{11}$ (схема 1) [5].

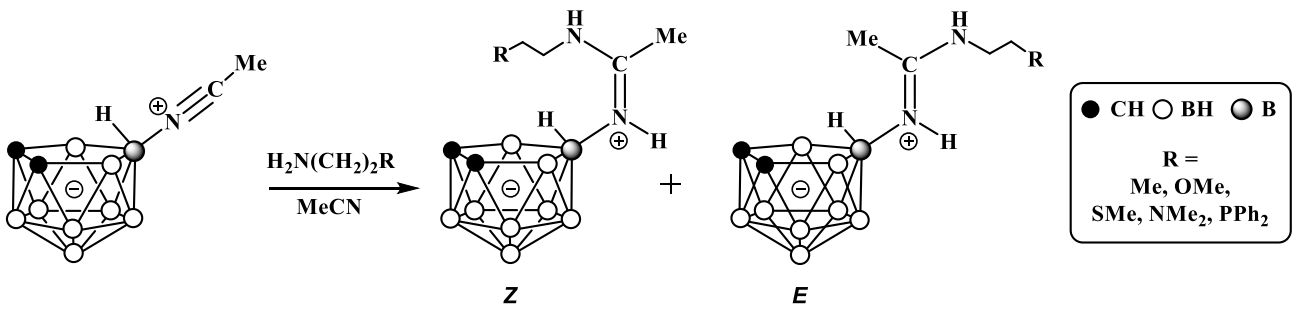


Схема. 1. Синтез *нидо*-карбораниламидинов с терминальными донорными фрагментами

Полученные лиганды в виде E-/Z-изомерных смесей были исследованы в реакции комплексообразования с бис(трифенилфосфин)хлоридом никеля(II) [$Ni(PPh_3)_2Cl_2$] в присутствии *трет*-бутилата калия (схема 2). В результате была получена серия полусэндвичевых комплексов никеля(II) с различными типами координации металл – лиганд.

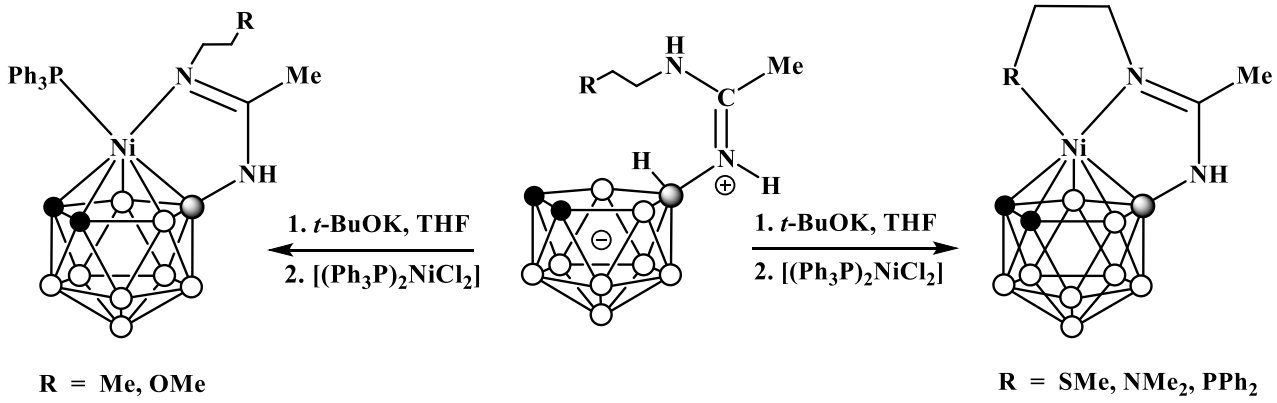


Схема. 2. Синтез никелакарборанов на основе *нидо*-карбораниламидиновых лигандов

Окислительно-восстановительные характеристики полученных комплексов были определены с помощью метода циклической вольтамперометрии (ЦВА), а строение соединений было установлено методом рентгеноструктурного анализа.

Список литературы

1. *Grimes R. N.* Carboranes. 2nd ed. London: Academic Press. London. 2011. 1139 p.
2. *Stogniy M. Y., Erokhina S. A., Suponitsky K. Y.*, *Markov V.Yu., Sivaev I.B.* // Dalton Trans. 2021. Vol 50. P. 4967. DOI: 10.1039/D1DT00373A
3. *Stogniy M. Y., Erokhina S. A., Suponitsky K. Y. et al.* // Crystals. 2021. Vol. 11. N. 3. P. 306. DOI: 10.3390/cryst11030306
4. *Semyonov D. K., Stogniy M. Y., Anufriev S. A. et al.* // Int. J. Mol. Sci. **2023. Vol.** 24. N.20. P. 15069. DOI: 10.3390/ijms242015069
5. *Stogniy M.Y., Erokhina S.A., Sivaev I.B. et al.* // Phosphorus Sulfur Silicon Relat. Elem. 2019. V. 194. N 10. P. 983. DOI: 10.1080/10426507.2019.1631312

ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ПОЛИ-[Pd(MeOSaltmen)] КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

***Петрова Д.А.*[1,2], *Смирнова Е.А.*[1,2]**

[1]*РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург*

[2]*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург*

petrovadarik@gmail.com

Ранее было показано, что проводящие полимеры на основе металлокомплексов с основаниями Шиффа проявляют электрохимическую активность при облучении светом видимого диапазона [1,2].

В представленной работе проведено сравнительное исследование фотовольтаического эффекта полимерных пленок поли-[Pd(MeOSaltmen)] и поли-[Ni(MeOSaltmen)], возникающего при облучении пленок светом синего светодиода с λ=468 нм. Полимерные пленки были синтезированы на поверхности стеклоуглеродной пластины и помещены в раствор фонового электролита на основе ацетонитрила. При непрерывном облучении электрода, модифицированного поли-[Pd(MeOSaltmen)], наблюдалось изменение его потенциала в положительную область на 0.5 В (ΔE, рис. 1). Фотовольтаический эффект, зарегистрированный для поли-[Ni(MeOSaltmen)] в аналогичных условиях, составлял 0.05 В.

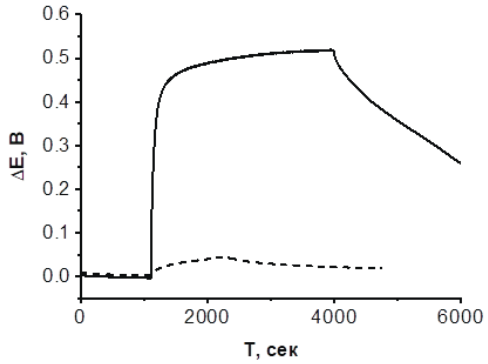


Рис. 1. Изменение потенциала электродов, модифицированных поли-[Pd(MeOSaltmen)] (сплошная линия) и поли-[Ni(MeOSaltmen)] (пунктирная линия), при облучении в 0,05 моль/л Et_4NBF_4 в ацетонитриле.

Фотовольтаический эффект для [Pd(MeOSaltmen)] превышает полученные раннее значения для других комплексов палладия, что говорит о перспективности дальнейшего исследования таких полимеров и возможности их использования при создании новых перспективных фотоэлектрохимических устройств.

Список литературы

1. *Смирнова Е.А., Беседина М.А., Карушев М.П., Васильев В.В., Тимонов А.М.* // ЖФХ. 2016. № 5. С. 808-814.
2. *Беседина М.А, Смирнова Е.А, Потурай Д.О., Карушев М.П.* // Извест. Академии Наук. 2021. 1. 107-112.

ВЛИЯНИЕ ДОПИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ SnO_2

Подурец А.А., ***Агапов И.В., Маркарян А.А., Бобрышева Н.П., Осмоловский М.Г., Вознесенский М.А., Осмоловская О.М.***

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

anastasiia.podurets@gmail.com

Фотокаталитическая очистка воды под действием видимого света является перспективной альтернативой традиционным методам удаления циклических органических загрязнителей. В качестве фотокатализаторов широко применяются наночастицы SnO_2, допированные ионами 3d-металлов. Однако в литературе остается открытым вопрос изучения допантов с различными ионными радиусами и степенью окисления. Целью данной работы является установление влияния условий синтеза на структуру, морфологию и фотокаталитические свойства наночастиц Fe-SnO_2 и Co-SnO_2.

Сферические наночастицы были получены методом соосаждения. Для варьирования структурных параметров синтез проводился при одновременном (SIMultaneous) и последовательном (SEQuential) введения исходных реагентов, а морфологические изменения достигались постсинтетической обработкой в муфельной печи при 500 °C. Полученные образцы охарактеризованы комплексом физико-химических методов. Было показано, что все наночастицы представляют основную фазу типа рутил, степень окисления допантов в ходе синтеза осталась неизменной. Разработан оригинальный протокол верификации оптимального положения допанта в кристаллической решетке SnO_2 на основе данных спектроскопии поглощения/отражения и квантово-химического моделирования зонной структуры и плотности состояний.

Согласно разработанному протоколу, включающему регистрацию кинетических зависимостей темной сорбции и фотодеградации загрязнителя, квантово-химических расчетов энергии взаимодействия катализатора с молекулой загрязнителя, scavenger test и определения общего органического углерода TOC комплексно исследованы фотокаталитические свойства наночастиц. Показано, что для частично гидрофобизированных наночастиц удается достичь 80% разложения красителя метиленового голубого за 60 минут облучения видимым светом.

Благодарности

Исследования были проведены на базе ресурсных центров «Вычислительный центр», «Инновационные технологии композитных материалов», «Магнитно-резонансные методы исследования», «Методы анализа состава и вещества», «Нанотехнологии», «Оптические и лазерные методы исследования», «Рентгенодифракционные методы исследования», «Физические методы исследования поверхности», «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники» Научного парка СПбГУ.

МЕТОД ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ТРОЙНОЙ СИСТЕМЫ W-C-B

***Полигенько А.В.*[1], *Осипов К.М.*[1,2], *Рубан Е.А.*[2], *Шапоренков А.А.*[2], *Душик В.В.*[1,2]**

[1] *Университет науки и технологий «МИСИС», Россия, 119049, г. Москва, Ленинский проспект д. 4, стр. 1*

[2] *ИФХЭ РАН, Россия, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4*

andreupoligenko@gmail.com

Метод химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ) позволяет получать покрытия на основе широкого спектра веществ: от монослоев кремния и углерода, до сложносоставных тугоплавких керамик и полимеров [1, 2]. Характерными особенностями покрытий, синтезируемых данным методом, являются их высокая сплошность и низкая пористость, а также равномерность толщины осажденного слоя по сечению, что является значимым преимуществом при использовании подложек с острыми углами и сложными поднутрениями.

Отдельный интерес представляет возможность применения метода ХОГФ для получения покрытий на основе тугоплавких соединений. Химическая природа осаждения обуславливает возможность получения слоев из тугоплавких металлов и их композитов при сравнительно низких температурах, что значительно расширяет номенклатуру материалов покрываемых подложек. Так, метод ХОГФ достаточно широко изучен и применяется для получения покрытий на основе титана (Ti), рения (Re), тантала (Ta), молибдена (Mo), вольфрама (W).

В докладе освещены основные особенности получения покрытий на основе вольфрама с применением метода ХОГФ при пониженном давлении. Продемонстрированы конфигурация и ключевые технологические параметры экспериментальной установки оригинальной конструкции. На примере реализованных экспериментов по осаждению слоев тройной системы W-C-B [3] показаны режимы синтеза и зависимость фазового состава от соотношения подачи прекурсоров, гексафторида вольфрама (WF_6) и триметиламин-борана ($(CH_3)_3N{:}BH_3$), в реакционную зону (Рис. 1).

При малых (менее 1 л/ч) расходах WF_6 отмечалось образование фазы β-W, которая характеризуется широкой областью гомогенности. При повышении расхода гексафторида вольфрама и триметиламин-борана образовывались фазы борида вольфрама (WB). При дальнейшем увеличении расхода триметиламин-борана и постоянном расходе гексафторида вольфрама, установленном на уровне 3 л/ч, отмечалось образование карбидов вольфрама (WC, W_2C),

подавлявших рост боридов вольфрама, что объясняется избыточной концентрацией углерода на фронте роста покрытия.

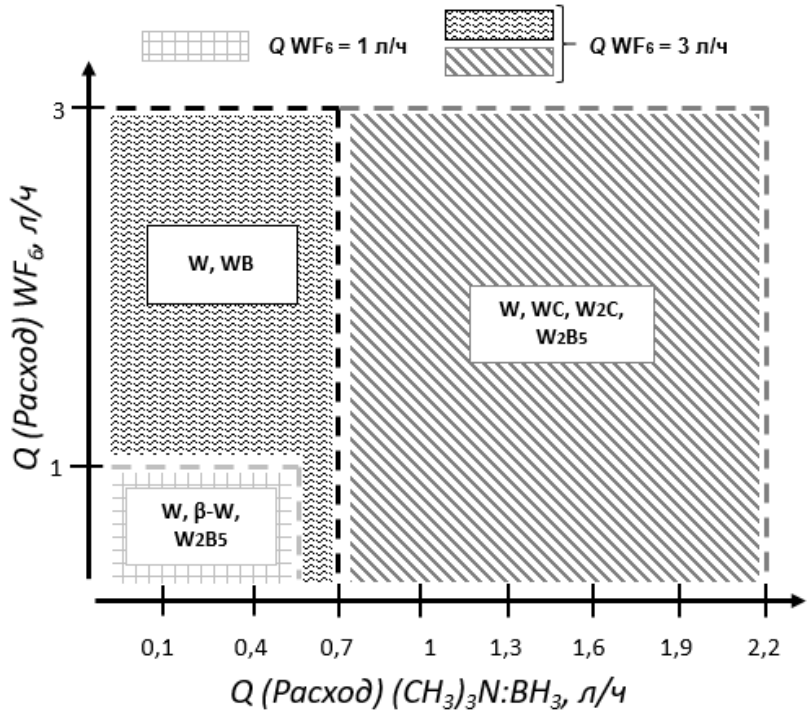


Рисунок 1. Зависимость фазового состава полученных покрытий от расхода прекурсоров.

Список литературы

1. *Hasan M., Abrahamczyk S., Awan M.A, Sakreida O., Bachmatiuk A., Martynkova G.S.,Barabaszová K.C. Rümmeli M.H.* // Nanomaterials.Vol.15. N 23. P. 1834 DOI: 10.3390/nano15231834
2. *Gleasson K. //* Frontiers in bioengineering and biotechnology. 2021. Vol. 9. P. 632753. DOI: 10.3389/fbioe.2021.632753
3. *Полигенько А.В., Осипов К.М., Рубан Е.А., Шапоренков А.А., Душик В.В.* // ПМ. 2025. № 11. С. 77

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ (соглашение № 125012200581-1)

СМЕШАННОКАРБОКСИЛАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ Eu С АНИОНАМИ МОНОКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ: СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВТОРОГО ТИПА АНИОНА НА ФОТОЛЮМИНИСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА

Рачис М.В.

РУМ Министерства здравоохранения РФ, г. Москва

Синтез новых комплексов был проведен на воздухе с использованием этанола (≥99.5%), 1,10-фенантролина (phen, 99%). Для синтеза новых комплексов использовались соли, которые были получены методом сплавления соли ацетата европия с различными кислотами (бензойная, два изомера тетрафтор-бензойной): 2,3,5,6-тетрафторбензоата европия(4Htf), 2,3,4,5-тетрафторбензоата европия(6Htf), бензоат европия(bz).

Перемешивание всех навесок происходило на магнитной мешалке IKA RT 5. Взвешивание всех навесок было произведено при помощи аналитических весов Sartorius CE224-C. Сплавление солей происходило методом сплавления с помощью Heidolph Hei -Plate Mix 'n' Heat Core. Инфракрасные спектры соединений были получены методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) в интервале частот 4000-550 $см^{-1}$ на ИК-Фурье спектрометры серии FT/IR-4700 (JASCO) ЦКП ИОНХ РАН. Элементальный анализ был выполнен при помощи CHNS-анализаторе EuroEA 3000 (EuroVector) в ЦКП ИОНХ РАН. Рентгенофазовый анализ был проведен в ЦКП ИОНХ РАН на дифрактометре Bruker D8 Advance (CuKα, λ = 1.54060 Å, Ni-фильтр, LYNXEYE детектор, геометрия на отражение). Рентгеноструктурный анализ моно-кристаллов соединений проводился на Bruker D8 Venture оборудованных CCD-детектором (MoKα, λ = 0.71073 Å, графитовый монохроматор в ЦКП ИОНХ РАН. Спектры люминесценции были измерены на спектрофлуориметре FluorologFL3-22 (Horiba-Jobin-Yvon), оснащенном ксеноновой лампой мощностью 450 Вт и стандартным фотоумножителем PMT R-928

Синтез исходных солей (6Fbnz-2,3,4,5-тетрафторбензойная кислота; 4Fbnz-2,3,5,6-тетрафторбензойная кислота; Bnz-бензойная кислота). 6Htf:К навеске 1 г (3,040ммоль) $Eu(CH_3COO)_3$ добавили 1,768 г (9,120ммоль) 6Fbnz нагрели до 130°С, с использованием стеклянной палочки, измельчая комки 1час, промыли полученный осадок этанолом и высушили на воздухе.
4Htf:К навеске 1 г (3,040ммоль) $Eu(CH_3COO)_3$ добавили 1,768 г (9,120ммоль) 4Fbnz нагрели до 130°С, с использованием стеклянной палочки, измельчая комки 1час, промыли полученный осадок этанолом и высушили на воздухе.

Bz: К навеске 1г (3,040ммоль) $Eu(CH_3COO)_3$ добавили 1,112 г (9,120ммоль) Bnz нагрели до 130°С, с использованием стеклянной палочки, измельчая комки до тех пор, пока не прекратится выделение кислоты, промыли полученный осадок этанолом и высушили на воздухе.

Синтез $Eu_2(phen)_2(bz)_{2.6}(4Htf)_2(6Htf)_{1.4}$ (1). К 12 мл этанола добавили твёрдые навески солей 0,050г (0,068 ммоль) 6Htf, 0,050г (0,068 ммоль) 4Htf, к ним присыпали bz 0,035г (0,287 моль) и перемешивали 10 минут при 80 °C до полного растворения осадка; к полученному раствору добавляли навеску 0,036г (0,200 ммоль) phen и перемешивали при 80°C в течение 20 минут, осадок не растворился. Полученный раствор спустя 7 суток отфильтровали, и в маточном растворе образовались мелкие бесцветные кристаллы. Выход продукта составил 90%. Найдено, %: C 48,6; H 1,8; N 3,3. Вычислено, %: C 48,6; H 1,9; N 3,4. ИК-спектр (НПВО; ν, см-1): 3749сл, 3674сл, 3648сл, 3314сл, 3069сл, 2983сл, 2359сл, 2342сл, 2159сл, 1977сл, 1621ср, 1590с, 1543сл, 1520ср, 1491ср, 1478ср, 1457ср, 1425ср, 1391с, 1350ср, 1283сл, 1264сл, 1242сл, 1212сл, 1190сл, 1174сл, 1144сл, 1104ср, 1090сл, 1051сл, 1032ср, 948ср, 913сл, 877сл, 864сл, 844ср, 806сл, 774сл, 749ср, 726с, 705с, 683с, 638ср, 612ср, 596сл, 581сл, 567сл, 551сл.

При сплавлении ацетата европия с соответствующей кислотой были синтезированы соли европия состава 2,3,5,6-тетрафторбензоат европия; 2,3,4,5-тетрафторбензоат европия; бензоат европия, которые использовались нами для получения гетероанионных соединений. Для синтеза гетероанионных комплексов мы использовали метод самосборки из полученных на первой стадии солей. При взаимодействиии тетрафторбензоатов европия и бензоата европия с 1,10-фенантролином в этаноле удалось выделить гетероанионный комплекс состава $Eu_2(phen)_2(bz)_{2.6}(4Htf)_2(6Htf)_{1.4}$.

Методом медленного испарения нам удалось получить качественные монокристаллы соединения 1 пригодные для рентгеноструктурного анализа. В структуре соединения 1 формирование биядерного металлоостова происходит за счет координации каждым ионом европия двух хелатно-мостиковых 4Htf анионов и двух 6Htf/bz анионов, где в одной позиции с нецелочисленными заселенностями в соотношении 0.7/0.3 находятся одновременно анионы 6Htf и bz. Позиции остальных анионов являются целочисленными.

Также каждый ион европия дополнительно координирует молекулу phen и хелатно-связанный bz анион, достраивая свое окружение до девятивершинного полиэдра Muffin (EuN_2O_7). При сравнении полученного гетероанионного комплекса 1 с его бензоатным аналогом: $[Eu_2(bz)_6(phen)_2]$ обнаружено, что введение гетероаниона приводит к значительному изменению геометрии комплексов, а также изменению относительной позиции органических лигандов. Спектры фотолюминесценции комплекса 1, регистрируемые при комнатной температуре, характерны для излучения иона Eu^{3+} при переходе от уровня 5D0 до уровней 7FJ (где J = 0-4). Комплекс европия 1 демонстрирует яркую металл-центрированную люминесценцию в красной области спектра. Для полученного соединения квантовый выход люминесценции (Q L/Ln, %) составил 54%, что незначительно превышает значение для его гомоанионного аналога $[Eu_2(bz)_6(phen)_2]$ – 50%.

Настоящее исследование было проведено при поддержке лаборатории химии координационных полиядерных соединений ИОНХ РАН им. Н.С. Курнакова.

ОСАЖДЕНИЕ ЭМИССИОННЫХ СЛОЕВ MgF_2 МЕТОДОМ MOCVD

Рихтер Э.А.

ИНХ СО РАН, Новосибирск

tapochic@gmail.com

Улучшение характеристик современных высокоточных приборов (масс-спектрометров, детекторов и преобразователей слабого излучения) требует совершенствования электронных умножителей, обеспечивающих необходимый уровень усиления сигнала. Для этого разрабатываются плёночные композиционные и/или ламинарные структуры, верхний слой которых должен обладать высоким коэффициентом вторичной электронной эмиссии (КВЭЭ). Поскольку наиболее эффективный тип электронного умножителя имеет сложную пространственную организацию (микроканальная пластина, МКП – стеклянная сотовая структура с диаметром каналов 5-7 мкм и высоким аспектным соотношением), то для нанесения таких покрытий применимы только химическое газофазное осаждение (MOCVD) и родственные методы.

В качестве материала эмиссионного слоя обычно рассматривают Al_2O_3 и MgO. Однако в первом случае КВЭЭ превышает таковой для стекла МКП не более чем в 2 раза, а во втором – повышается до 3-5 раз, но не обеспечивается долговременной стабильной работы и появляется чувствительность к воздуху. В этом аспекте актуальным становится поиск новых эмиссионных составов, среди которых привлекает внимание фторид магния MgF_2 вследствие исключительной химической стабильности и приемлемого для практики КВЭЭ (между Al_2O_3 и MgO). Однако работы по осаждению MgF_2 методом MOCVD единичны [1], а исследования эмиссионных свойств получаемых плёнок не проводились. Таким образом, для определения перспектив применения MgF_2 в рассматриваемой области требуется рассмотреть влияние ключевых параметров процессов MOCVD на функциональные характеристики плёнок.

В данной работе проведены MOCVD эксперименты по осаждению плёнок MgF_2 на подложки Si(100) в атмосфере O_2 при температурах 400-550°C из трех летучих прекурсоров: разнолигандных комплексов магния со фторированными β-дикетонами и нейтральным алифатическим или ароматическим лигандом, $[Mg(tmeda)(L)_2]$ (L = hfac, ofhac) и $[Mg(bipy)(hfac)_2]$ (рис. 1).

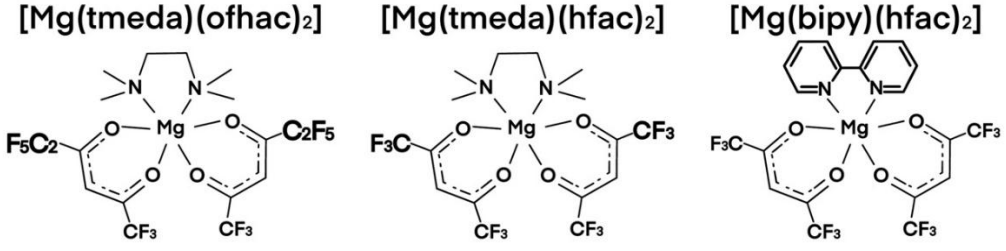
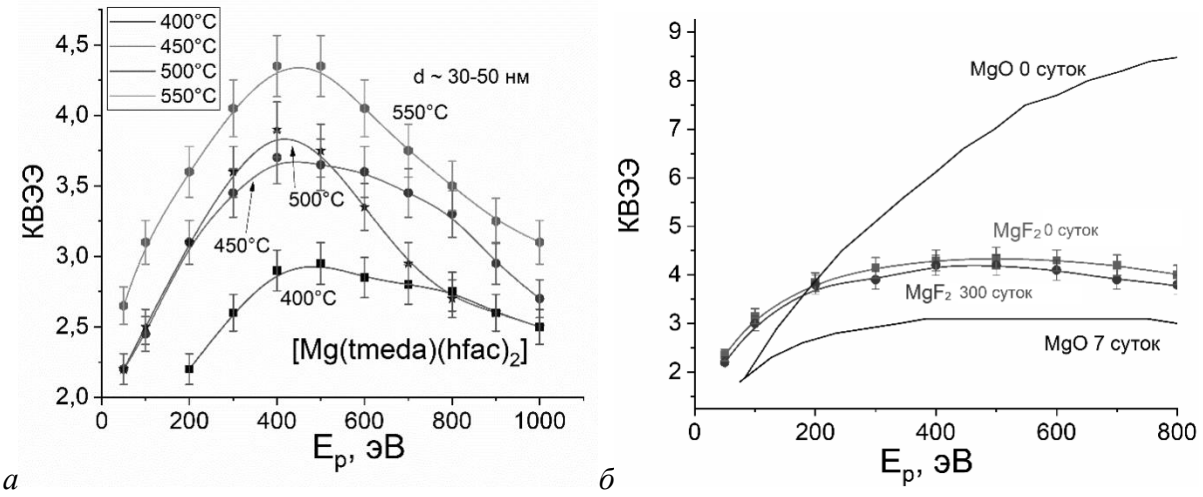


Рисунок 1. Структурные формулы прекурсоров, использованных в данной работе.

Полученные образцы охарактеризованы методами СЭМ, РФЭС, ЭДС. С помощью рентгеновской дифракции (GI-XRD) доказано образование тетрагонального MgF_2. Установлено, что содержание углеродных и кислородных примесей в плёнках уменьшается с ростом температуры, причем температуры 400°C недостаточно для эффективного разложения прекурсоров. Характер изменения морфологии плёнок с ростом температуры осаждения зависит от прекурсора. В случае наиболее фторированного прекурсора, [Mg(tmeda)(ofhac)$_2$], при максимальных температурах 550°C наблюдается принципиальное изменение морфологии плёнки, которое может быть вызвано изменением механизма роста. Плёнки, получаемые при 450-550°C, имеют перспективные эмиссионные характеристики, причем наиболее высокие КВЭЭ (4.5-4.7 при 400 эВ, рис. 2а) достигаются при максимальной температуре и общий характер изменений не зависит от прекурсора. Снижение КВЭЭ при хранении на воздухе находится в пределах погрешности, что указывает на высокую стабильность образцов MgF_2, особенно в сравнении с плёнками MgO, полученными из родственного нефторированного прекурсора, которые демонстрируют критическое снижение КВЭЭ в 4 раза уже через 7 суток (рис. 2б).



а *б*

Рисунок 2. (а) Зависимости КВЭЭ от энергии первичных электронов (E_p) для плёнок MgF_2, полученных из [Mg(tmeda)(hfac)$_2$] при 400-550°C; (б) Аналогичные данные для экспериментов по стабильности плёнок MgF_2 и MgO на воздухе.

Список литературы

1. *Fragalà M. E., Toro R. G., Privitera S., Malandrino G.* // Chem. Vap. Deposition. 2011. N 17. P 80. DOI: 10.1002/cvde.201106849

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 24-79-10272.

СИНТЕЗ *БИС*-ЦИКЛОМЕТАЛЛИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ(IV)

***Романов А.С*, Каткова С.А.**

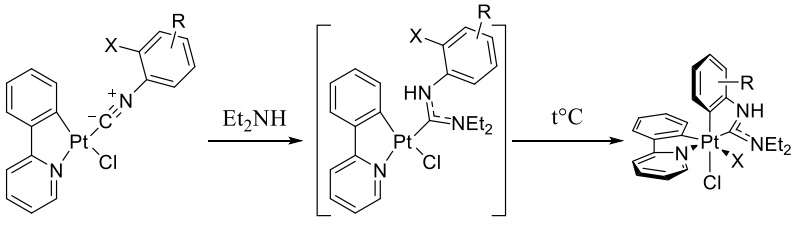
СПбГУ, Санкт-Петербург

st106284@student.spbu.ru

Молекулярный дизайн, синтез и изучение люминесцентных комплексов представляют собой одно из наиболее актуальных фундаментальных направлений в координационной химии переходных металлов. За счет эффекта тяжелого атома, приводящего к спин-запрещенному переходу с синглетного на триплетное возбужденное состояние, возникает возможность получения люминесценции с длительным временемжизни возбужденного состояния – фосфоресценции [1].

Среди люминесцентных комплексов металлов платиновой группы можно выделить *бис*-циклометаллированные компексы платины(IV) $[Pt(C^Y)(C^Z)L_1L_2]$, свойства которых возможно варьировать структурой циклометаллирующих C^Y и вспомогательных лигандов лигандов L, что позволяет эффективно настраивать область люминесценции и ее эффективность. Однако, существующие методы синтеза таких комплексов ограничиваются несколькими подходами, которые направлены преимущественно на получение гетеролептических комплексов платины(IV) или использование окислителей (гипервалентного иода, перекиси водорода) [2].

В работе нами был разработан новый подход к получению нового класса комплексов платины(IV) $[Pt(C^N)(C^C)L_1L_2]$, основанный на способности комплексов платины(II) с ациклическими диаминокарбеновыми лигандами подвергаться внутримолекулярному окислительному присоединению согласно схеме:



Полученные комплексы охарактеризованы набором физико-химических методов анализа: ИК спектроскопия, масс-спектрометрия высокого разрешения HR-MS ESI^+; ЯМР спектроскопия на ядрах ^1H, $^{13}C\{^1H\}$, ^{195}Pt, $^{19}F\{^1H\}$, а также монокристального РСА.

Список литературы

1. *Hani-Amouri* // Chemical Reviews. 2023. Vol. 123. N 1. P 230. DOI: 10.1021/acs.chemrev.2c00206

2. *Vivancos Á., Bautista D., González-Herrero P.* // Inorg. Chem. 2022. Vol. 61. N 30. P. 12033.

Работа выполнена с использованием оборудования ресурсных центров СПбГУ «Магнитно-резонансные методы исследований», «Рентгенодифракционные методы исследования», «Методы анализа состава вещества», «Оптические и лазерные методы исследования вещества» и «Вычислительный центр».

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФОТОХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА ДИОКСИДА ТИТАНА

Сизова А.А.*, *Исаева Е.И.

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

miss.truvor2014@yandex.ru

Диоксид титана широко применяется как фотокатализатор в реакциях разложения органических веществ, загрязняющих воздух и воду. Однако использование TiO_2 в качестве фотокатализатора ограничено высокой скоростью процесса рекомбинации электрон-дырочных пар. Повысить фотокаталитическую активность диоксида позволяет его модификация наночастицами переходных металлов, например, серебра [1].

В данной работе предложен быстрый и не требующий дорогостоящего оборудования фотохимический способ получения наноструктур TiO_2/Ag. Диоксид титана получали гидролизом тетрабутоксида титана с последующей кальцинацией в атмосфере воздуха при температуре 450ºС в течение 2 ч. Результаты РДА показывают, что диоксид титана формируется в модификации анатаза с возможной примесью брукита. Поверхность анизотропных частиц диоксида титана фотохимически модифицировали наночастицами серебра. По данным рентгеноспектрального микроанализа, массовая доля серебра в полученных нанокомпозитах составила 5.49%. Полученные структуры имеют развитую поверхность, что объясняет их высокую каталитическую активность.

Показано, что средняя скорость фотодеструкции метилового оранжевого (МО) в присутствии нанокомпозита TiO_2/Ag при облучении УФ-светом с длиной волны 254 нм и 365 нм практически одинаковая и превышает среднюю скорость реакции, осуществляемой в присутствии чистого диоксида титана, в 1.9 и 4.9 раза соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Зависимость средней скорости разложения МО от природы катализатора

Катализатор	$\upsilon^{60}\cdot10^{-3}$ мин$^{-1}$ (λ=254 нм)	$\upsilon^{60}\cdot10^{-3}$ мин$^{-1}$ (λ=365 нм)
TiO_2	6,0	2,2
TiO_2/Ag	11,3	10,8

Также изучена каталитическая активность полученных наноструктур в реакции фоторазложения родамина Б. Реакция фотокаталитической деградации данного красителя характеризуется высокой скоростью: так, разложение родамина Б более, чем на 90% в присутствии нанокомпозита TiO_2/Ag достигается менее, чем за 10 минут облучения.

Список литературы:

1. *Lee M. S., Hong S. S., Mohseni M.* // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. 2005. V. 242. №. 1-2. P. 135-140. DOI: 10.1016/j.molcata.2005.07.038.

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТОВ CeO_2/Ag В РЕАКЦИЯХ ОКИСЛЕНИЯ САЖИ

Совенко П.С.*, *Исаева Е.И.

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт—Петербург

sovenkop@mail.ru

Последние исследования в научной литературе все чаще посвящены катализаторам на основе наночастиц диоксида церия, способным эффективно дожигать сажу и вредные компоненты выхлопных газов. Сажа образуется при неполном сгорании топлива и наносит серьезный ущерб экологии и здоровью человека. Нанокомпозиты CeO_2/Ag рассматриваются как перспективная и экономически выгодная альтернатива существующим катализаторам на основе палладия и платины.

Целью настоящей работы является исследование каталитической активности нанокомпозитов CeO_2/Ag в реакциях окисления сажи и изучение механизма реакции.

Нанокомпозиты CeO_2/Ag получены по двум методикам: путем термолиза нитратов церия(III) и серебра на целлюлозе в качестве темплата, а также фотохимической модификацией наночастицами серебра волокнистого CeO_2, полученного темплатным способом. Для оценки каталитической активности CeO_2 и нанокомпозитов CeO_2/Ag в реакциях окисления сажи была проведена серия циклических экспериментов. Смесь катализатора и сажи в массовых соотношениях 2:1 была подвергнута термогравиметрическому анализу в атмосфере воздуха.

Таблица. Каталитическая активность CeO_2 и нанокомпозитов CeO_2/Ag в реакциях окисления сажи

Катализатор	Цикл	Температура, ^{0}C		
		T_{10}	T_{50}	T_{90}
CeO_2	1	496	549	605
CeO_2/Ag_photo, полученные фотолизом	1	415	519	587
	2	446	532	585
	3	462	527	573
	4	460	548	608
	5	469	549	596
CeO_2/Ag_term, полученные термолизом	1	456	545	597
	2	452	531	590
	3	458	522	568
	4	462	535	595

Таким образом, показано, что для применения в условиях, требующих периодической регенерации, катализатор CeO_2/Ag_term является более предпочтительным благодаря своей стабильности, в то время как катализатор CeO_2/Ag_photo может быть эффективен для разовых или малоцикловых процессов, где важна максимальная начальная активность вследствие значительного понижения температуры начала окисления сажи в первом цикле.

КРИСТОБАЛИТИЗАЦИЯ КВАРЦА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ КЛИНОПТИЛОЛИТ-K/Na-ГИДРОФОСФАТНОЙ СМЕСИ

***Солобоева Т.П.*[1], *Дабижа О.Н.*[1,2]**

Забайкальский государственный университет, Чита

Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова, Санкт-Петербург

laperdina.lapi@yandex.ru

Механическая активация цеолитов приводит к увеличению степени аморфизации или разрушению структуры, частичному растворению и перекристаллизации силикатных фаз, превращению цеолита в кварцевую фазу кремнезема [1]. Кристобалит, обычно образующийся при 1470–1710°C, может развиваться при более низких температурах (~1000°C) в природных системах из-за примесей и дефектов [2]. Сухая механическая активация в присутствии 2 мас.% Na_3PO_4 вызывает полиморфное превращение кварца в кристобалит с конверсией до 21% [3]. Наряду с фосфатами щелочных металлов, следует учитывать также важную роль воды в многочисленных её формах: сорбционной, структурной, гидратной, капиллярной, как возможного минерализатора/катализатора механохимических процессов.

Рентгенофазовый анализ твердофазных систем «клиноптилолит–K/Na-гидрофосфат», подвергнутых сухой механической активации в вибрационном истирателе ИВЧ-3, подтвердил аморфизацию, кристобалитизацию, дегидратацию, а также конденсацию гидрофосфатных анионов (Рис. 1).

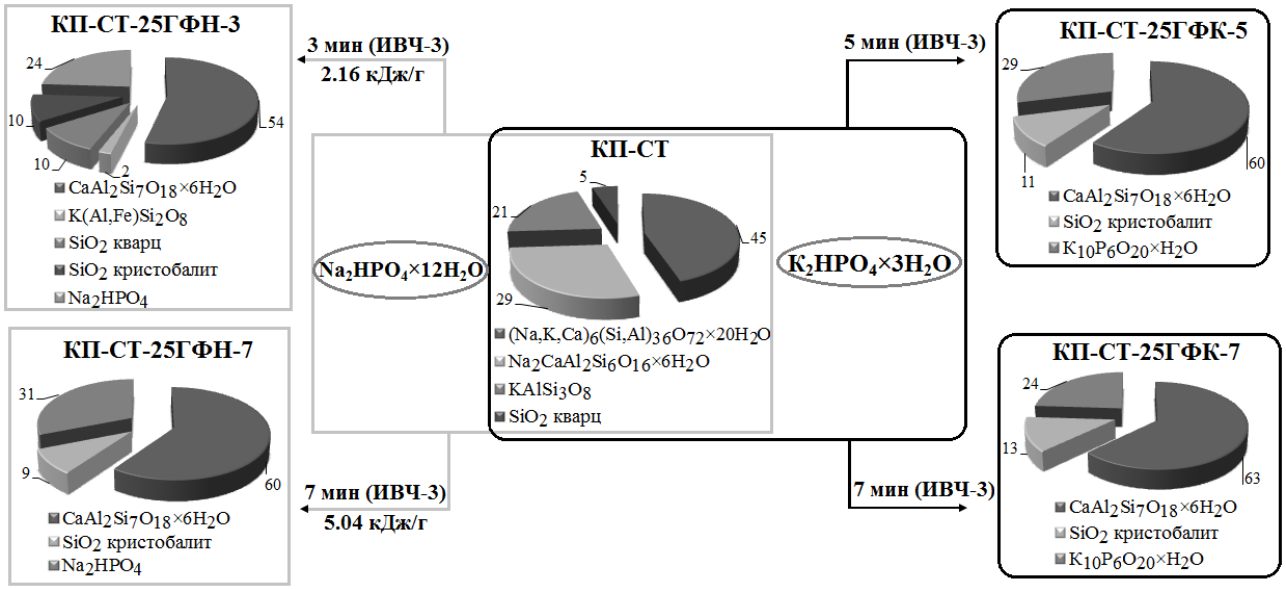


Рисунок 1. Фазовый состав образцов:
КП-СТ – клиноптилолитовая порода (Холинское месторождение, Россия);
ГФН – гидрофосфат натрия; ГФК – гидрофосфат калия;
$(Na,K,Ca)_6(Si,Al)_{36}O_{72}\cdot 20H_2O$ – клиноптилолит; $CaAl_2Si_7O_{18}\cdot 6H_2O$ – гейландит;
$KAlSi_3O_8$ микроклин; $K(Al,Fe)Si_2O_8$ – ортоклаз (полевые шпаты)

Клиноптилолит и гейландит образуют непрерывный изоморфный ряд с идентичными кристаллическими каркасами и их переход объясняется изменением катионного набора ($K^+ + Na^+ > Ca^{2+}$ и $K^+ + Na^+ < Ca^{2+}$) и отношения Si/Al (≥4 и <4 соответственно). Процессы (1)–(4) протекают при механической активации твердофазных систем «клиноптилолит–K/Na-гидрофосфат»:

$$SiO_2(\text{кварц}) \xrightarrow{2.16,кДж/г} SiO_2\ (\text{аморфный}) \xrightarrow{2.16-5.04,кДж/г,Na^+,K^+} SiO_2\ (\text{кристобалит}) \quad (1)$$

$$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O \xrightarrow{3.60-5.04,кДж/г} K_2HPO_4 + 3H_2O \quad (2)$$

$$6K_2HPO_4 \xrightarrow{3.60-5.04,кДж/г} K_{10}P_6O_{20} \cdot H_2O + K_2O + 2H_2O \quad (3)$$

$$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O \xrightarrow{2.16-5.04,кДж/г} Na_2HPO_4 + 12H_2O \quad (4)$$

Очевидно, что большее количество воды в случае механической активации клиноптилолитовой породы с гидрофосфатом натрия додекагидратом препятствует конденсации анионов HPO_4^{2-}.

Дозы механической энергии 3.60–5.04 кДж/г и интенсивных локальных разогревов достаточно для трансформации кварца в кристобалит. После 3 минут истирания, соответствующих удельной энергии 2.16 кДж/г, в составе образца КП-СТ-25ГФН-3 идентифицируются и кварц, и кристобалит (Рис. 1), а также остаточное количество ортоклаза. Это подтверждает трансформацию указанных минералов, которые уже не наблюдаются в составах других порошков после 5 и 7 минут механической активации. Однако при механической активации клиноптилолитовой породы с примесным кварцем (Шивыртуйское месторождение, Россия), без полевого шпата и стильбита в составе, совместно с K/Na-гидрофосфатом наблюдается только аморфизация кварца без дальнейшей его кристобалитизации.

Список литературы

1. *Ajjaq A., Cura Ö., Oruç P., Cavdar S., Acar S.* // Ceramics International. 2025. 10.1016/j.ceramint.2025.12.426.
2. *Uribe-Zorita M. D., Álvarez-Lloret P., Ramajo B., Reynes J. F., Marcos C.* // Materials. 2025. Vol. 18. N. 13. P. 3077. DOI: 10.3390/ma18133077
3. Косенко Н.Ф., Смирнова М.А. Химия и химическая технология. 2008. 52. 2. 58–60.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема НИР №FZZF-2026 «Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменно-циклонных топливных систем»).

БЕСХРОМАТНАЯ ПАССИВАЦИЯ СЕРЕБРА И ЛУЖЁНОЙ ЖЕСТИ В РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ГЕКСАФТОРЦИРКОНИЕВОЙ КИСЛОТЫ

***Сухорукова В.А.*, Баранова В.А., Колесникова А.В., Абрашов А.А.,**

Дидык А.А., Лактюшина Д.П.

РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва

ilarmu@mail.ru

В настоящее время одной из актуальных задач химической технологии является разработка экологически безопасных процессов защиты металлов от коррозионных разрушений. В рамках решения данной задачи значительный интерес представляют серебро и электролитически лужёная жесть, широко применяемые в ювелирной, электронной и пищевой промышленности. Для серебра наряду с коррозионной стойкостью важно сохранение декоративных и оптических характеристик поверхности, тогда как для электролитически лужёной жести ключевым является обеспечение не только высокой коррозионной стойкости, но и адгезии пищевых лаков при последующей обработке [1-2].

Традиционно для пассивации серебра и электролитически лужёной жести применяются процессы хроматирования, в растворах на основе соединений шестивалентного хрома. Несмотря на высокую эффективность хромсодержащих покрытий, данные процессы сопровождаются серьёзными экологическими и санитарными рисками, связанными с токсичностью и канцерогенностью соединений Cr(VI), что обусловливает необходимость поиска и внедрения альтернативных бесхроматных технологий [3].

Работа посвящена разработке и исследованию цирконийсодержащих покрытий на поверхности серебра и лужёной жести в растворах на основе гексафторциркониевой кислоты (H_2ZrF_6), способных заменить традиционные хромсодержащие покрытия без ухудшения характеристик.

Объектами исследования являлись серебряные сплавы 875, 925 и 999 проб. Для формирования защитных покрытий использовался раствор на основе гексафторциркониевой кислоты. Осаждение покрытий проводили как химическим, так и электрохимическим способами. При химической пассивации серебра оптимальные параметры процесса находились в интервалах: концентрация H_2ZrF_6 – 0.5–2.0 г/л, pH раствора 4-5.5, температура 18-25 °C, продолжительность обработки 60-90 с. Установлено, что при электрохимическом способе осаждения защитных плёнок при плотности тока 0.3-0.5 А/дм² продолжительность обработки сокращается до 45 с без ухудшения защитных свойств. Толщина сформированных цирконийсодержащих покрытий на серебре составляет 85-120 нм и зависит от режима осаждения.

Для оценки стойкости серебряных покрытий к потускнению была применена модифицированная ускоренная методика по типу Тучило-Нильсона с использованием раствора Na_2S. Установлено, что необработанные серебряные образцы теряют блеск и темнеют уже через 5 ч испытаний, в то время как

пассивированные в цирконийсодержащих растворах сохраняют исходный цвет и отражательную способность в течение 30 ч.

Влияние содержания меди в серебряных сплавах проявляется в снижении стойкости к сульфидной коррозии при уменьшении количества меди в сплаве.

Было изучено влияние введения в базовый раствор добавок (органисеские соединения, органосиланы) и их влияние на защитные и цветовые характеристики осаждаемых покрытий.

Измерение цветовых характеристик и отражательной способности показали, что цирконийсодержащие покрытия, полученные при оптимальных параметрах практически не изменяют оптические свойства и паяемость серебра.

В качестве второго объекта исследования использовалась электролитически лужёная жесть с толщиной оловянного покрытия (≈0.2 мкм). Снижение толщины олова приводит к росту пористости покрытия и повышению коррозионной активности основы, что особенно критично для упаковочной тары в пищевой отрасли. Показано, что цирконийсодержащие покрытия на поверхности лужёной жести также могут быть получены как химическим, так и электрохимическим способами. При химическом осаждении оптимальные параметры процесса составляли: продолжительность пассивации 45-75 с, pH раствора 4.0-5.0, температура 18-40 °C. При электрохимическом осаждении при плотности тока 0.5 А/дм² продолжительность процесса сокращается до 5 с. В интервале концентраций H_2ZrF_6 1-3 г/л формируются однородные бесцветные покрытия с защитной способностью 60-75 с, при этом блеск поверхности сохраняется.

Испытания в растворе L-цистеина гидрохлорида показали, что на непассивированной жести образуется сульфидная плёнка SnS–FeS, сопровождающаяся снижением отражательной способности с 78.5 до 32 %. На пассивированных образцах очаги сульфидной коррозии не обнаружены.

Дополнительно исследована коррозионная стойкость лакированной жести в модельных пищевых средах. В растворе 3%-ного NaCl коррозионные дефекты на непассивированных образцах появлялись через 240 ч, на хроматированных – через 600 ч, а на образцах с цирконийсодержащим покрытием – спустя 900 ч. В растворе винной кислоты образцы с цирконийсодержащим покрытием сохраняли целостность в течение 1200 ч, превосходя хромсодержащие покрытия.

Адгезия пищевого лака к пассивированной поверхности оценивалась методом поперечных насечек и соответствовала классу 5B по стандарту ASTM D3359-02.

Список литературы

1. *Stoulil J., Anisova´ M.* // Anti-Corrosion Methods and Materials. 2013. Vol. 61. No. 1. P. 38-43.
2. *Yfantis D., Yfantis A., Tzalas B. et al.* //Corrosion. 2000. Vol. 56. No. 7. P. 700-708.
3. *Kerur S.S., Bandekar S., Hanagadakar M.S. et al.* // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 42. P. 1112-1121

СИНТЕЗ НАНОРАЗМЕРНОГО ОРТОФЕРРИТА ЛЮТЕЦИЯ МЕТОДОМ ТЕРМОЛИЗА ЦИТРАТОВ

Телятников В.Б.*, *Семенов С.А.

РТУ МИРЭА, Москва

Email: telyatnikovvb@gmail.com

В настоящее время исследование наноразмерных материалов-мультиферроиков получило широкое распространение благодаря перспективам их использования в качестве устройств хранения памяти и преобразователей солнечной энергии [1]. Ортоферриты редкоземельных элементов с перовскитоподобной структурой демонстрируют ярко выраженные магнитные свойства. Соединение o-$LuFeO_3$ с пространственной группой Pbnm является мультиферроиком II типа, сочетая антиферромагнитные (со слабым ферромагнетизмом) и сегнетоэлектрические свойства [2]. Также ортоферрит лютеция обладает хорошей стабильностью и низким коэффициентом температурного расширения [3]. Благодаря данным свойствам, в том числе, возможно значительное улучшение характеристик твердооксидных топливных элементов.

Наночастицы o-$LuFeO_3$ были получены методом цитратного золь-гель синтеза без этапа самовоспламенения. В качестве реагентов были использованы: оксид лютеция (Lu_2O_3); азотная кислота 65% (HNO_3); нитрат железа (III) ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$); лимонная кислота ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$). Процесс термолиза проводился в атмосфере азота при температуре 1200 °C в течение 1 часа.

Полученный после проведения термолиза образец был исследован методом рентгенофазового анализа (рис.1). В результате были получены следующие фазы: o-$LuFeO_3$ (пространственная группа – Pbnm, содержание – 80.9 %); Fe_2O_3 (пространственная группа – R-3c, содержание – 19.1 %).

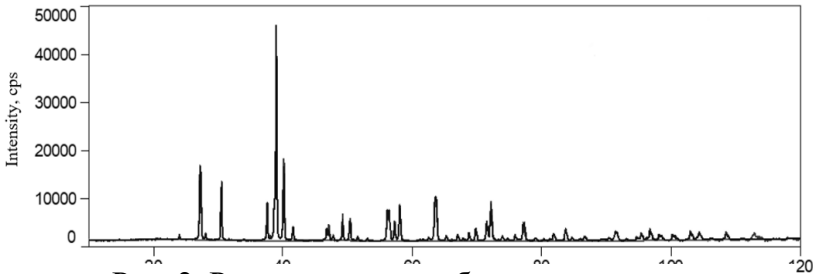


Рис. 2. Рентгенограмма образца, содержащего $LuFeO_3$

Список литературы

1. *Ahmad T., Lone I.H.* // Materials Chemistry and Physics. 2017. Vol. 202. P. 50.
2. *Fesenko O.M., Fesych I.V., Zatovsky I.V., Yaremkevych A.D., Ralle M., Bodnaruk A.V., Eliseev E.A., Morozovska A.N.* // AIP Advances. 2024. Vol. 14. Art. 095124.
3. *Li G., Liu R., Huang J., Cui H., Xia N., Wang Z., Huang Z., Chu J.* // Optics Express. 2025. Vol. 33. N 3. P. 4127.

СИНТЕЗ И СТРУКТУРА КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ СЕМИКАРБАЗОНОВ С Pt(II)

Чернова У.Д., ***Игонин А.С., Байчурин Р.И., Исаева Е.И.***

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург
chernova_ulyana00@inbox.ru

Семикарбазоны – полидентатные лиганды, широко применяемые в координационной химии и способные к образованию связей с различными ионами металлов за счет содержания в структуре атомов азота и кислорода. В литературе широко описана биологическая активность как самих лигандов, так и их комплексов [1-2]. В виду этого, одним из перспективных направлений является синтез координационных соединений семикарбазонов с металлами платиновой группы, в частности, с Pt(II), а также изучение их состава, структуры и свойств.

Комплексные соединения платины(II) с семикарбазонами *n*-диметиламинобензальдегида (PtL^1), 2,4-дигидроксибензальдегида (PtL^2) и 5-бромсалицилового альдегида (PtL^3) были получены в результате взаимодействия соответствующего семикарбазона и платинового прекурсора в присутствии безводного ацетата натрия в метаноле (схема 1):

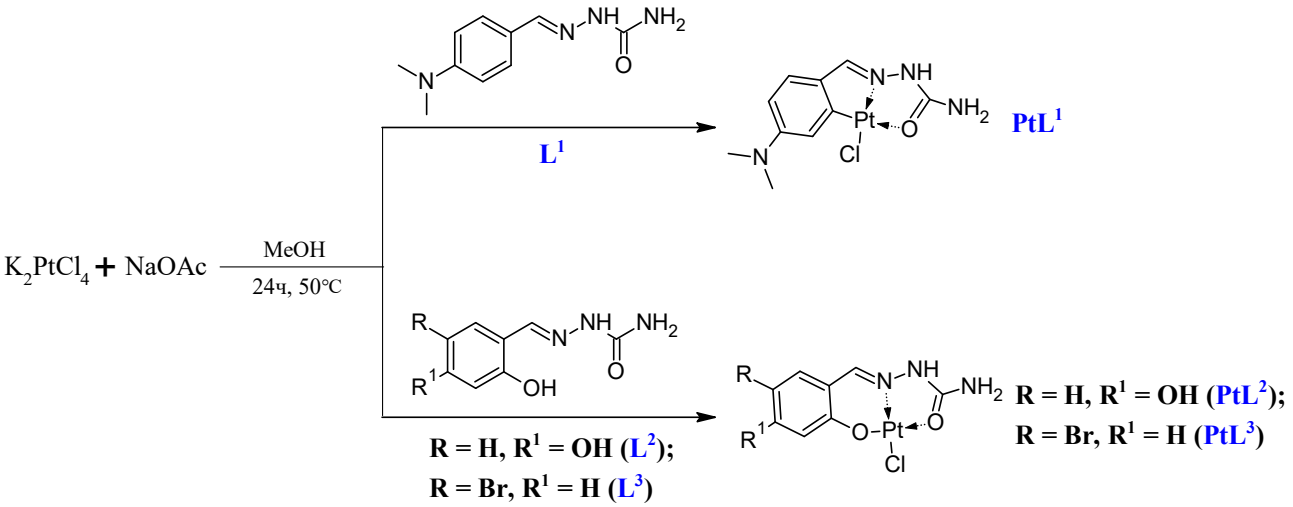


Схема 1. Синтез PtL и их предполагаемая структура

Состав координационных соединений подтвержден комплексом физико-химических методов исследования: ИК-спектроскопией, ЯМР ^1H, ^{13}C и электронной спектроскопией.

При сравнении ИК-спектров комплексных соединений со спектрами исходных лигандов (таблица 1) наблюдается смещение полос, характерных для C=O и C=N групп, в низкочастотную область, что свидетельствует об их координации с ионом металла. Наличие полосы поглощения при 3656 $см^{-1}$ для PtL^1, отнесенной к валентному колебанию OH-группы, может являться следствием проявления лактим-лактамной таутомерии [3].

Таблица 1. Интерпретация полос в ИК спектрах L^{1-3}, PtL^{1-3}

	ИК спектр, ν, $см^{-1}$, KBr
L^1	3463, 3290, 3188, 3164 (NH), 3064 (NH, CH), 2984, 2926, 2853 (CH), 2807 (Ar-N(CH_3)$_2$),1689 (C=O), 1643 (C=N), 1608 (δ_{NH}), 1528, 1515 (C=C), 1437 ($\delta_{benz.}$), 1375 (C_{Ar}-N), 1306 (C-N, δ_{NH}), 1182 (C_{Alk}-N), 812 ($\delta_{benz.\ n/planar}$);
PtL^1	3656 (OH), 3438 (NH), 2922 (CH), 1604, 1584 (C=N, C=C, δ_{NH}), 1523, 1519 (C=C), 1438, 1434 ($\delta_{benz.}$), 1364 (C_{Ar}-N), 1188 (C_{Alk}-N), 815 ($\delta_{benz.\ n/planar}$);
L^2	3473, 3233 (NH_2, NH, OH), 3000 (C-H), 2919 (OH) 1678 (C=O), 1630 (C=N), 1581 (C=C, δ_{NH}), 1447, 1218;
PtL^2	3656 (OH), 3381, 3202 (NH, OH), 2956 (C-H), 2925 (OH) 1607 (C=O), 1539 (C=N, (C=C, δ_{NH}); 1448, 1218;
L^3	3470 (OH), 3360 (NH), 3217 (ВС OH с C=O), 3163 (NH), 3052, 2971, 2915 (CH), 2853 (OH), 1696 (C=O), 1594 (C=N, C=C), 1477 (δ_{NH}), 1259, 1187, 1163 (1,2,4 - Ar);
PtL^3	3402 (NH), 2958, 2924 (C-H), 2854 (OH), 1672 (C=O), 1584 (C=N, C=C), 815 ($\delta_{benz.\ n/planar}$).

По данным электронной спектроскопии (растворитель – метанол) комплексообразование подтверждается смещением полос в комплексных соединениях по сравнению с семикарбазонами (231, 316 нм для L^1 и 227, 264 нм для PtL^1; 238, 282 нм для L^2 и 229, 270 нм для PtL^2). При этом в спектрах поглощения L^3 и PtL^3 не наблюдается смещения полос при координации.

Полосы поглощения в диапазоне 227 – 238 нм для $L^{1,2}$, $PtL^{1,2}$, а также при λ 279 нм для L^3 и PtL^3, можно отнести к $\pi \rightarrow \pi^*$ переходу в арильных фрагментах соединений, а в диапазоне 264 – 316 нм и при 327 нм, соответственно, к $n \rightarrow \pi^*$ переходу. В спектрах поглощения комплексов PtL^1 и PtL^3 появляется полоса при 390 нм, которая относится к полосе переноса заряда.

Список литературы

1. *Sharma K., Singh R., Fahmi N., Singh R.V.* // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2010. N 75. P. 422. DOI: 10.1016/j.saa.2009.10.052
2. *Biyala M.K., Sharma K., Swami M., Fahmi N., Singh R.V. //* Transition Metal Chemistry. 2008. N. 33. P. 377. DOI: 10.1007/s11243-008-9053-3
3. *Knežević N. Ž., Leovac V. M., Jevtović V. S., Grgurić-Šipka S., Sabo T. J.* // Inorganic Chemistry Communications. 2003. N 6. P. 561. DOI: 10.1016/S1387-7003(03)00041-8

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА НА АГРОНОМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Якупов Р.П. [1,2], ***Банда Д.***[1], ***Сариман Д.***[1], ***Бузько В.Ю.***[1], ***Сухно И.В.***[1], ***Полушин А.А.***[1]

[1]*Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, Краснодар*

[2]*КубГУ, Краснодар*

sukhno_igor@mail.ru

Оксидные наноматериалы являются перспективными веществами для интенсификации процессов роста различных сельскохозяйственных культур. Это связано с наличием в составе таких материалов биогенных микроэлементов и высокой степенью подвижности и биохимической активности ультрамалых металл-оксидных наночастиц. Тем не менее, на сегодняшний день вопрос о влиянии метода синтеза оксидного наноматериала на его биохимическую ростостимулирующую активность остается слабоизученным.

Нами было исследовано ростостимулирующее влияние образцов металл-оксидных наночастиц различных методов синтеза на процессы роста овощного гороха сорта «Мадрас» при выращивании из зерен из фракции 0.28-0.3 грамма/зерно. Исследование производилось для образцов никель-цинк оксидных наноматериалов на перлитных субстратах с использованием универсального микроэлементного раствора Чеснокова-Базыриной. Измерялись морфологические характеристики растений овощного гороха с момента появления первых листьев и до 40 дней выращивания, фиксировали изменение уровней хлорофилла в листьях методом спектроскопии диффузного светоотражения, также проводилось исследование содержания общей и связанной воды в листьях растений гороха методами термогравиметрии и КР-спектроскопии.

Обнаружено, что биохимическая активность образцов никель-цинк оксидных наноматериалов довольно сильно зависит от метода синтеза наноматериала. Так, она уменьшается в ряду методов: золь-гель пирохимический > золь-гель осадительный >> механохимический. Все исследованные образцы никель-цинк оксидных наноматериалов интенсифицировали с разной эффективностью рост гороха. Наибольшее влияние наночастицы оказывали на количество листьев овощного гороха, их площадь и скорость роста стебля. Содержание воды в листьях обработанных наноматериалами растений овощного гороха было на 3-5% ниже уровня для контрольных растений, а содержание хлорофилла выше.

Мы предполагаем, что влияние метода синтеза на агрономические свойства исследованных образцов никель-цинк оксидных наноматериалов связано как с влиянием размера наночастиц, их зарядовыми характеристиками, так и степенью аморфности их структуры.

СЕКЦИЯ 3

ФИЗИЧЕСКАЯ И КВАНТОВАЯ ХИМИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ХИМИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ БЕНЗ[*a*]ПИРЕНА

Богдашкина А.М.*, *Сологубов С.С.*, *Маркин А.В.

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

bogdashkina03@mail.ru

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это органические соединения с двумя или более конденсированными ароматическими кольцами, которые могут располагаться по прямой линии (нафталин, антрацен и др.), под углом (фенантрен, хризен и др.) или в виде кластеров. Они представляют собой кристаллические вещества, обладающие высокими температурами плавления и низким давлением насыщенных паров. ПАУ отличаются высокой устойчивостью к внешним воздействиям и способностью накапливаться в окружающей среде в течение длительного времени. Важной особенностью ПАУ является их липофильность: они плохо растворимы в воде, но хорошо растворимы в органических растворителях, причем растворимость ПАУ уменьшается по мере увеличения их молекулярной массы [1].

Выделение полициклических ароматических углеводородов в окружающую среду происходит под действием антропогенных и природных факторов. Одними из основных источников загрязнения окружающей среды ПАУ являются автотранспорт, авиация и судоходство. ПАУ также образуются как побочные продукты в процессах высокотемпературной переработки органического сырья (нефтехимическая промышленность, производство асфальта). Наряду с накоплением ПАУ идет и их разрушение в природе (процессы микробного разложения, ультрафиолетовое излучение) (рис. 1).

Рисунок 1. Основные источники выбросов и факторы разрушения полициклических ароматических углеводородов

Повышенный научный интерес к полициклическим ароматическим углеводородам связан с тем, что эти соединения обладают канцерогенной и мутагенной активностью и представляют опасность для здоровья человека [2]. Объектом исследования является бенз[*a*]пирен (CAS # 50-32-8) – представитель семейства ПАУ, который относится к первому (высшему) классу опасности и обладает чрезвычайно высокой токсичностью. В России бенз[*a*]пирен является индикатором состояния окружающей среды и подлежит обязательному контролю во всех природных объектах (вода, воздух, почва). Молекулярная и кристаллическая структуры бенз[*a*]пирена приведены на рис. 2.

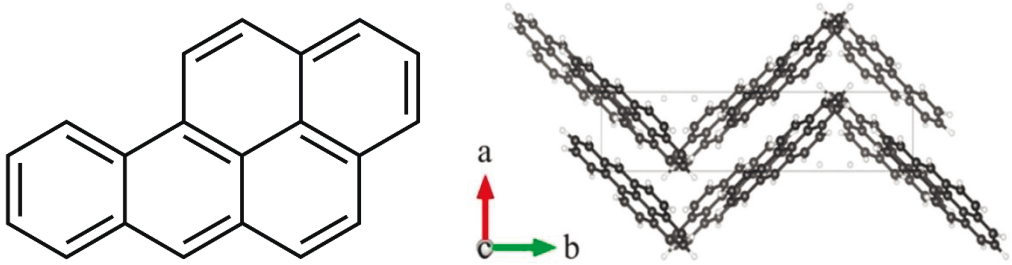


Рисунок 2. Молекулярная и кристаллическая структуры бенз[*a*]пирена $C_{20}H_{12}$

В работе определена теплоемкость бенз[*a*]пирена методами прецизионной калориметрии в температурном интервале 7–590 K. В области 370–400 K обнаружен полиморфный переход бенз[*a*]пирена из моноклинной в орторомбическую кристаллическую структуру; в интервале 440–470 K выявлен эндотермический эффект, обусловленный плавлением бенз[*a*]пирена. По полученным экспериментальным данным рассчитаны стандартные термодинамические функции бенз[*a*]пирена для области от $T \rightarrow 0$ до 590 K. Проведен сравнительный анализ термодинамических свойств бенз[*a*]пирена и других полициклических ароматических углеводородов (нафталина, антрацена, пирена, флуорантена).

Информация о термодинамических свойствах полициклических ароматических углеводородов будет востребована в таких областях, как промышленность, энергетика, экология. Полученные результаты позволят разработать эффективные подходы, способствующие минимизации вероятности попадания ПАУ в окружающую среду, а также предотвращению негативного влияния ПАУ на живые организмы.

Список литературы

1. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons / R.G. Harvey. New York: Wiley-VCH, 1997. 682 p.
2. *Jacob J.* // Pure Appl. Chem. 1996. Vol. 68. P. 301. DOI: 10.1351/pac199668020301.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Госзадание FSWR-2026-0013).

ЛИОТРОПНЫЕ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ НЕИОННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА ДОПИРОВАННЫЕ ПАРАМАГНИТНЫМИ КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТА ЛЕКАРСТВЕННОГО СРЕДСТВА

Галеева А.И., ***Фам Л., Косенко А.И., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г.***

КНИТУ, Казань

galeeva-alija@mail.ru

Существенным достижением наномедицины является реализация управляемого высвобождения лекарств в заданных участках организма. При создании таких систем используются органические и неорганические наноносители [1,2]. «Интеллектуальные» наноносители, высвобождающие препараты в ответ на внутренние (например, pH, окислительно-восстановительное состояние, активность ферментов) или внешние (например, свет, температура, магнитные поля) раздражители открывают новые возможности для тераностики и хронотерапии. Наличие люминесценции в парамагнитных КТ определяет их использование в качестве меток для люминесцентного анализа тканей и позволяет проводить при помощи одного агента сразу два вида визуализации [3].

В данной работе изучена возможность получения новых гибридных лиотропных сред на основе неионного поверхностно-активного вещества - монододецилового эфира тетраэтиленгликоля ($C_{12}EO_4$) и парамагнитных квантовых точек (ПКТ) $Cd_{0.9}Mn_{0.1}S/ZnS$. Концентрация ПКТ (1 мг/мл), содержащих парамагнитные ионы меди и марганца вполне достаточна для применения в дальнейшем метода ЭПР для более глубоко исследования структуры и магнитных свойств созданных систем. Методом политермической поляризационной микроскопии (ПОМ) были идентифицированы образующиеся лиомезофазы и построена фазовая диаграмма гибридных систем. Фазовые переходы подтверждены методом ПОМ и ЯМР-релаксации. Парамагнитные свойства также установлены с помощью ЭПР-спектроскопии. Для систем $C_{12}EO_4/(H_2O+ПКТ)/C_{10}H_{21}OH$ проявлялась текстура, характерная для ламелярной упаковки молекул в мезофазе. Исследования люминесценции и АСМ показали, что новые гибридные системы $C_{12}EO_4/(H_2O+ПКТ)/C_{10}H_{21}OH$, обладают наноразмерной структурой и люминесцентным излучением в области 380-400 нм.

Список литературы

1. *Галеева А.И. Хуснутдинова Р.И., Крупин А.С., Галяметдинов Ю.Г.* // Жидк. крист. и их практич. использ. 2025. Т. 25. № 2. С. 20–29.
2. *Глинов А., Маилов А. С., Веремейчик Я. В., Галеева А.И, Галяметдинов Ю.Г.* // Жидк. крист. и их практич. использ. 2024. Т. 24. №3. С. 14-24.
3. *Sagdeev D.O., Galyametdinov Y.G.* // Optical Materials. 2025. Vol. 158 P. 116462. DOI: 10.1016/j.optmat.2024.116462

Исследование выполнено в рамках Государственного задания № 075-00021-26-00 от 12.01.2026 (FZSG-2026-0003).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РЕЛАКСАЦИИ В КОМПЛЕКСАХ ЛАНТАНОИДОВ С ТРОПОЛОНОМ

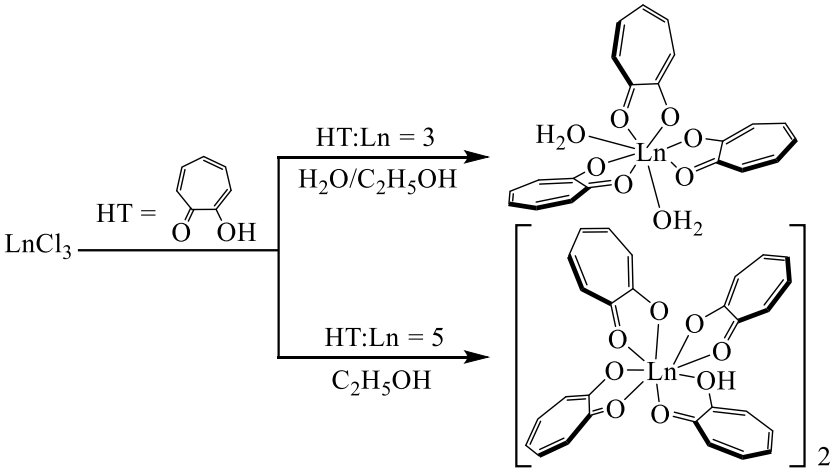
***Галкина А.С.**, Бабешкин К.А., Петросянц С.П., Ефимов Н.Н.*

ИОНХ РАН, Москва

asgalkina@bk.ru

Использование современных ферромагнитных материалов для получения устройств сверхплотного хранения и обработки информации ограничено из-за явления суперпарамагнетизма. Последние три десятилетия в качестве альтернативы активно исследуются мономолекулярные магниты (SMMs – single molecule magnets) – материалы, которые проявляют магнитные свойства – демонстрируют замедленную магнитную релаксацию – на уровне одной молекулы. Особое внимание уделяется комплексам лантаноидов, что обусловлено их значительной магнитной анизотропией [1].

С целью исследования характера магнитной релаксации координационных соединений Dy(III) и Er(III) с тропололоном были синтезированы новые моноядерные комплексы состава $[Ln(H_2O)_2T_3]\cdot 0.5H_2O$, Ln = Dy(III), Er(III) (**1Ln**) и димерный комплекс состава $[Ln(HT)T_3]_2$, Ln = Er(III) (**2Ln**), где HT = 2-гидроксициклогепта-2,4,6-триен-1-он (тропололон).



Исследования поведения магнитной восприимчивости в переменном магнитном поле показали, что все соединения проявляют замедленную магнитную релаксацию при приложении внешних постоянных магнитных полей, а комплекс **1Dy** даже в нулевом магнитном поле.

Путем аппроксимации экспериментальной зависимости времени релаксации от обратной температуры τ(1/T) во всем температурном интервале различными механизмами магнитной релаксации было выяснено, что процесс перемагничивания для комплекса **1Er** в магнитном поле 1000 Э подходящим образом описывает одна из следующих комбинаций: механизм Орбаха + прямой процесс (R1), механизм Рамана + квантовое туннелирование намагниченности (КТН) (R2), а для **2Er** в магнитном поле 500 Э – механизм

Орбаха + механизм Рамана (R1), механизм Рамана + прямой процесс (R2) (Табл. 1). Для подтверждения участия механизма Орбаха в процессе магнитной релаксации были проведены квантово-химические расчеты значений энергетических уровней крамерсовых дублетов (КД), участвующих в релаксации намагниченности, в модуле SINGLE_ANISO программы ORCA 6.1 [2]. Расчеты показали, что энергии первых возбужденных состояний составили 45 и 72 К для **1Er** и **2Er**, соответственно, что значительно выше полученных из аппроксимации высокотемпературного (линейного) участка зависимости $\tau(1/T)$ уравнением Аррениуса (R_{Arr}) значений $\Delta E/k_B$ в обоих случаях. Последнее указывает, что для обоих комплексов полученные значения $\Delta E/k_B$ не имеют физического смысла, и механизм Орбаха не реализуется, поскольку его протекание должно включать переход на «реальный» промежуточный уровень. Таким образом, магнитную релаксацию в комплексах **1Er** и **2Er** лучше всего описывают комбинации: механизм Рамана + КТН и механизм Рамана + прямой процесс, соответственно.

Анализ матричных элементов перехода магнитного момента между компонентами КД для **1Dy** объяснил наличие замедленной магнитной релаксации в нулевом магнитном поле. Так, значение матричного элемента для дублета основного состояния составило $0.002\mu_B$, что отвечает сравнительно малой скорости КТН.

Таблица 1. Результаты аппроксимации зависимостей $\tau(1/T)$

	1Er		**2Er**	
T, K	2.7–2.9		2.8–3	
R_{Arr}	$\Delta E/k_B$, K	16	$\Delta E/k_B$, K	28.7
	τ_0, s	8.3×10^{-8}	τ_0, s	1.3×10^{-9}
T, K	2–2.9		2–3	
R1	$\Delta E/k_B$, K	39	$\Delta E/k_B$, K	33
	τ_0, s	5×10^{-11}	τ_0, s	3×10^{-10}
	A_{direct}	9.82×10^{-9}	C, K^{-n_Raman}, s^{-1}	187
			n_{Raman}	3.7
R2	C, K^{-n_Raman}, s^{-1}	1.6	C, K^{-n_Raman}, s^{-1}	1.06
	n_{Raman}	9.4	n_{Raman}	9.8
	B, s^{-1}	19015	A_{direct}	1.34×10^{-8}

Список литературы

1. *Zabala-Lekuona A., Seco J. M., Colacio E.* // Coord. Chem. Rev. 2021. Vol. 441. P. 213984. DOI: 10.1016/j.ccr.2021.213984.
2. *Neese F.* // Wiley Interdiscip. Rev.: Comput. Mol. Sci. 2012. Vol. 2. N 1. P. 73. DOI: 10.1002/wcms.81.

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА ZSM-5 В РЕАКЦИИ МЕТИЛИРОВАНИЯ ТОЛУОЛА

Исмайлова С.Б.*[1], *Ахмедова Н.Ф.*[1], *Мамедова А.З.*[2], *Мамедов С.Э.

[1]*Бакинский Государственный Университет, г. Баку, Азербайджан*

[2]*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности*

E-mail: n_akhmedova@mail.com

Диалкилбензолы являются ценным промежуточным сырьём в производстве полиэфиров, пластичных масс, ионообменных смол. Среди диалкилбензолов большой практический интерес вызывает получение *п*-ксилола. Потребность в *п*-ксилоле неуклонно возрастает с каждым годом. В промышленности *п*-ксилол в основном получают ректификацией из фракции ароматических углеводородов C_x, диспропорционированием толуола и изомеризацией *м*-ксилола.

В последние годы большое внимание обращают на процесс получения п-ксилола метилированием толуола в присутствии катализаторов на основе цеолита типа ZSM-5, который благодаря наличию взаимосвязанных синосуидальных и прямых каналов с размерами 0.51×0.55 и 0.53×0.56, обеспечивают высокую селективность по *п*-ксилолу. Однако в процессе эксплуатации катализаторов на основе ZSM-5 за счет протекания реакций олигомеризации ненасыщенных интермедиатов происходит их дезактивация.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния содержания бора и родия на селективность образования *п*-ксилола и стабильность работы катализатора в процессе метилирования толуола.

Для приготовления катализаторов использовали коммерческий цеолит ZSM-5 с мольным отношением SiO_2/Al_2O_3=40 производства «Нижегородские сорбенты». Модифицирование цеолита HZSM-5 проводили методом пропитки с использованием водных растворов нитрата лантана, ортоборной кислоты и хлорида родия. Содержание лантана и родия в катализаторах составляло соответственно 1.0-4.0 и 0.1-0.5 мас.%.

Метилирование проводили в проточной установке в присутствии водорода в интервале температур 300-380 ^{0}C, при мольном отношении Т/М=2:1, объёмной скорости сырья 1.0 $ч^{-1}$. Модифицирование цеолита HZSM-5 лантаном в количестве 1.0-5.0 мас.% способствует возрастанию селективности по *п*-ксилолу с 27.5 % до 65.6 % и стабильности работы до 20 ч.

Дополнительное модифицирование катализатора 5% La/HZSM-5 родием в количестве 0.5 мас.% увеличивает стабильность катализатора до 80 ч. Обнаружено, что в присутствии Rh-содержащего катализатора в газообразных продуктах отсутствует этилен и пропилен, которые являются источниками образования коксовых отложений.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ *П*-НОНИЛОКСИБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ

***Исхаков А.Ф.*, Романова К.А., Галяметдинов Ю.Г.**
КНИТУ, Казань
ishakov.adil@yandex.ru

Оптические и электрофизические свойства жидких кристаллов определяются их мезофазами, поэтому корректность их определения критична для дальнейших исследований. Несмотря на то, что микроскопический метод позволяет определить мезофазу визуально, оператору необходимы знания различных текстур, иначе зачастую сложно точно определить тип мезофазы. В дополнение можно применять методы компьютерного зрения, позволяющие добиваться точности и воспроизводимости в оценке текстур.

Для распознавания изображений чаще всего используют сверточные нейронные сети. При этом можно использовать метод трансферного обучения «дообучения» уже готовой сети. Это позволяет ускорять обучение под конкретную задачу. В нашей работе была применена нейронная сеть ResNet50 для распознавания нематической и смектической С фаз п-нонилоксибензойной кислоты [1]. Текстуры фаз были получены на поляризационном микроскопе при нагреве и охлаждении кристаллов вещества в интервале температур 100 – 140°С с учетом гистерезиса [2, 3].

Изображения были отобраны и разделены для получение набора данных в виде 8736 изображений по 300×300 пикселей. Из этого набора были сформированы тренировочный (75% изображений), валидационный (15% изображений) и тестовый (10% изображений) наборы.

По результатам обучения на тренировочном наборе была получена кривая обучения по эпохам для оценки точности измерений и потерь, разрыв между которыми после начала обучения составил менее 5%, что соответствует признакам правильного обучения. Ранняя остановка по метрике валидационной точности произошла на 17 эпохе обучения из 50. Точность составила 92,34%. Другие метрики точности включали воспроизводимость – 93,57%, отклик модели – 91,27%, оценка F1 средних значений – 92%, что можно считать хорошим результатом.

Исследование выполнено при в рамках Государственного задания № 075-00021-26-00 от 12.01.2026 (FZSG-2026-0003).

Список литературы

1. *Kaiming H., Xiangyu Zh., Shaoqing R., Jian S.* arXiv:1512.03385 [cs.CV]. 2015.
2. *Rao J.V., Choudary L.V.* // Phase Transition: A Multinational Journal. 1985. Vol. 5. N 1. P 73.
3. *Yadykova A.Y., Konstantinov I.I.* // Int. J. Mol. Sci. 2023. Vol. 24. N 21. P. 15706

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ – БИНАРНЫЕ РАСТВОРИТЕЛИ

Краснопёров А.И.*, *Пестов С.М.

РТУ МИРЭА, Москва

krasnopyorov13@bk.ru

Фенилбензоаты (ФБ) – традиционно используемый класс жидких кристаллов (ЖК), входящий в состав жидкокристаллических материалов для ЖК дисплеев. Для финишной стадии очистки ФБ используют многократную перекристаллизацию из органического растворителя. В качестве растворителя для кристаллизации ЖК на практике используют алканы и спирты, в которых у ФБ низкая растворимость [1]. Это приводит к недостаточному качеству очистки ЖК. Для оптимизации очистки ФБ необходимо подобрать растворитель с хорошей растворимостью, что можно сделать при использовании методов термодинамического моделирования.

В качестве ЖК объектов были взяты ФБ с различной длиной алкильной цепи (R-C_6H_4-COO-C_6H_4-OC_4H_9): ФБ-6/4 (R = OC_6H_{13}), ФБ-7/4 (R = OC_7H_{15}), ФБ-9/4 (R = OC_9H_{19}). Была исследована растворимость ФБ в различных бинарных растворителях, содержащие алканы, ароматические углеводороды, спирты, кетоны, простые эфиры, алкилацетаты.

При помощи метода групповых вкладов Хуккерикара [2] были определены дисперсионный δ_d, полярный δ_p и водородный δ_h составляющие параметра растворимости Хансена для ФБ (Табл. 1). Подбор бинарных систем осуществлялся с использованием треугольника Тиса.

Таблица 1. Дисперсионный, полярный и водородные составляющие параметра растворимости Хансена

ЖК	δ_d, $МПа^{0,5}$	δ_p, $МПа^{0,5}$	δ_h, $МПа^{0,5}$
ФБ-6/4	18,5	6,9	6,0
ФБ-7/4	18,5	6,7	5,8
ФБ-9/4	18,5	6,4	5,4

Для тройных систем наблюдалось увеличение растворимости ФБ по сравнению с бинарными. Наилучшие показатели характерны для систем с алканами и алкилацетатами.

Список литературы

1. *Молочко В.А., Пестов С.М.* Фазовые равновесия и термодинамика систем с жидкими кристаллами. М.: ИПЦ МИТХТ, 2003. 242 с.
2. *Hukkerikar A.S., Sarup B., Kate A.T., Abildskov J., Sin G., Gani R.* // Fluid Ph. Equilib. 2012. Vol. 321. P. 25-43. DOI: 10.1016/j.fluid.2012.02.010.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА РЕАКЦИОННОЙ СРЕДЫ НА РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЙ ВЫХОД ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТНОГО ФОСФОРА

Ксенофонтов Н.А.*, *Занин А.А.

РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва

nikitosksen@mail.ru

Параметры процесса полимеризации во многом определяются составом реакционной среды, в которой он проводится. В связи с этим важно понимать закономерности влияния состава среды на особенности процесса полимеризации [1]. Результаты проведенных ранее исследований процессов полимеризации элементного фосфора позволяют предположить, что механизм полимеризации реализуется через инициирование молекулярного фосфора активными частицами, образующимися при радиолизе воды. В дальнейшем данные активные частицы могут взаимодействовать с растущей цепью полимерного фосфора, тем самым обрывая её. В целях изучения данной проблемы было проведено исследование полимеризации в присутствии акцепторов активных частиц, таких как ацетонитрил и гипофосфит натрия [2]. Очищенный белый фосфор в растворе ацетонитрила или растворе гипофосфита натрия в дистиллированной воде облучали пучком ускоренных электронов на радиационно-технической установке LINS 02-500 с энергией электронов 3 МэВ (Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН). На основании полученных данных о массе синтезированных фосфорсодержащих полимеров были определены значения конверсии фосфора в водной среде в присутствии ацетонитрила и гипофосфита натрия. Следует отметить, что добавление в реакционную среду акцепторов активных частиц привело к незначительному снижению конверсии элементного фосфора в процессе электронно-лучевой полимеризации по сравнению с дистиллированной водой. Также были рассчитаны значения радиационно-химического выхода (РХВ) конверсии элементного фосфора в фосфорсодержащие полимеры для исследуемых процессов: для водной среды G = 10 1/100 эВ, для растворов ацетонитрила и гипофосфита натрия – G = 9 1/100 эВ и G = 8 1/100 эВ, соответственно. Значения РХВ показывают, что несмотря на незначительное уменьшение конверсии скорость полимеризации, инициированная пучком ускоренных электронов, имеет близкие значения во всех исследованных средах.

Список литературы

1. *Tarasova N., Zanin A., Krivoborodov E., Karavaev S., Ksenofontov N., Ivanov A.* //J. Solut. Chem. 2025. P. 1-8. DOI: 10.1007/s10953-025-01482-z
2. *Тарасова Н.П., Занин А.А., Кривобородов Е.Г., Караваев С.Е., Ксенофонтов Н.А., Мирзаалиев Т.О.* // Доклады РАН. 2025. Т. 523. С. 3-10. DOI: 10.7868/S3034511125040019

СПЕКТРОМЕТРИЯ ИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ НИТРОПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗОЛА

***Меламед Т.Б**, Каплин А.А., Ефремов Е.В., Баберкина Е.П., Юдин Н.В., Якушин Р.В.*

ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

melamed.tanya@gmail.com

Метод спектрометрии ионной подвижности активно применяется в качестве экспрессного метода анализа. В данной работе представлены исследования спектров ионной подвижности химически чистых образцов 2,4,6-тринитротолуола (2,4,6-TNT), 2,4,6-тринитрофенола (2,4,6-TNP), 2,4,6-тринитрорезорцина (2,4,6-TNR), 2,4-динитроанизола (2,4-DNAN), 2,3-динитротолуола (2,3-DNT), 2,4-динитрофенола (2,4-DNP), 2,4-динитротолуола (2,4-DNT), 2,5-динитротолуола (2,5-DNT), 2,6-динитротолуола (2,6-DNT), 3,4-динитротолуола (3,4-DNT) и 3,5-динитротолуола (3,5-DNT). Согласно литературным данным [1], данный метод предполагает неразрушающую мягкую химическую ионизацию, но в ионограммах 2,4,6-TNT и 2,3-DNT наблюдаются сигналы нескольких ионов, что предполагает возможную фрагментацию молекулярных ионов. Осколочный ион 2,4,6-TNT совпадает по величине ионной подвижности с ионом 3,4-DNT, как представлено на рисунке 1. Также для сравнения приведены значения ионной подвижности веществ со сходной химической природой и молекулярной массой (2,4,6-TNP, 2,4,6-TNR).

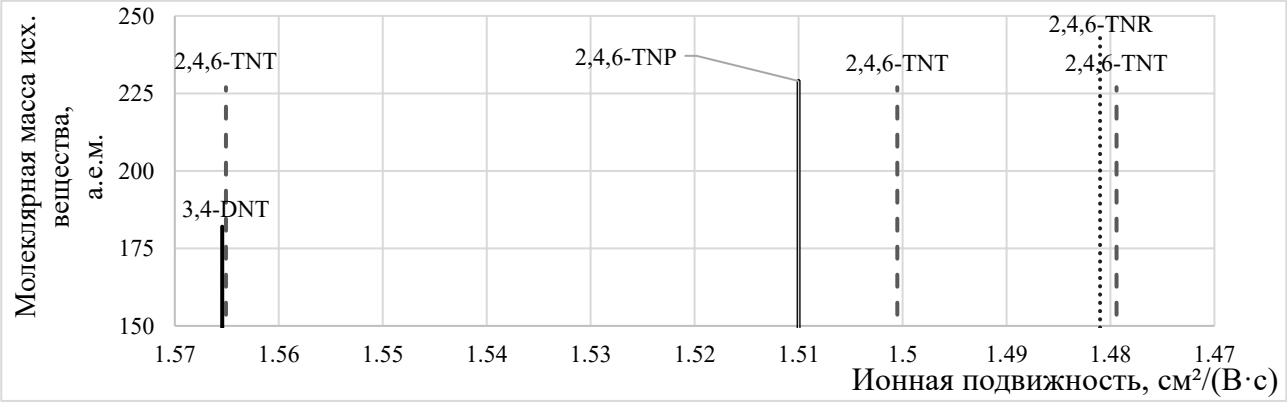


Рисунок 1. График «Подвижность-Молекулярная масса» 2,4,6-TNT, 2,4,6-TNP, 2,4,6-TNR, 3,4-DNT.

Сигнал 2,4-DNAN (M_r=198 а.е.м.) теоретически должен иметь ионную подвижность меньше, чем 2,4-DNP (M_r=184 а.е.м.), но полученные значения ионной подвижности, представленные на рисунке свидетельствуют о фрагментации 2,4-DNAN в условиях ионизации. 2,4-DNAN и 2,4-DNP имеют практически идентичные по ионной подвижности сигналы, что позволяет предположить формирование схожих 2,4-динитрофеноксид-ионов за счет расщепления метоксигруппы, а сигнал 2,4-DNT имеет подвижность меньшую, чем у 2,4-DNP, таким образом возможно формирование такой частицы как 2-метил-3,5-нитрофеноксид-ион.

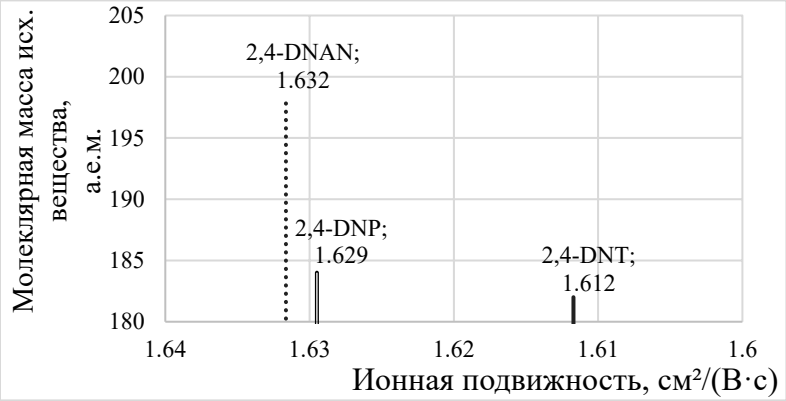


Рисунок 2. График «Подвижность-Молекулярная масса» 2,4-DNAN, 2,4-DNP, 2,4-DNT.

Другим объяснением появления дополнительных сигналов для веществ является формирование димерных структур, однако такое явление более характерно для соединений с химической природой, обуславливающей возможность протонирования. В литературе [2, 3] представлены данные о формировании димерных структур для азотсодержащих органических соединений, но данные типы ионов обнаружены в режиме регистрации положительно заряженных частиц. В случае анализа приведенных выше нитропроизводных бензола в области положительной ионизации сигналов не зафиксировано.

Исследование ионограмм изомерных DNT (рис. 3) показало, что при одинаковой молекулярной массе веществ наблюдается существенное различие в ионной подвижности, что обусловлено вероятнее всего различной формой эффективного сечения частицы.

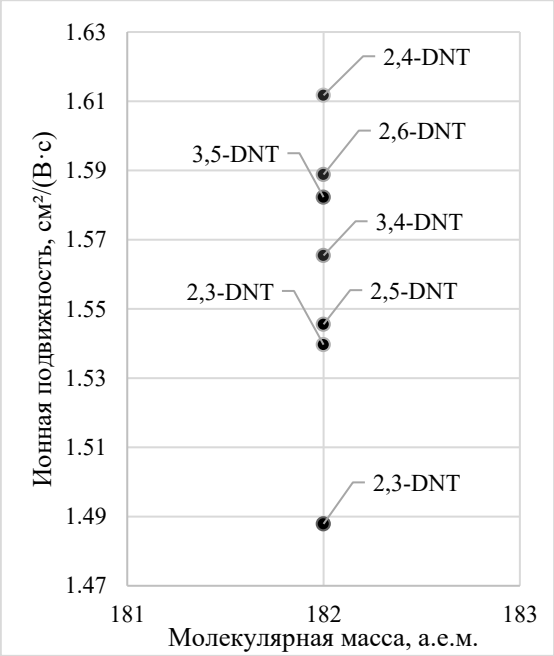


Рисунок 3. График «Молекулярная масса-Подвижность» изомерных DNT

Актуальность данной работы состоит в том, что процессы фрагментации и димеризации затрудняют идентификацию соединений, а также способны вызвать появление ложноположительных сигналов.

Список литературы

1. *Eiceman GA, Karpas Z.* Ion mobility spectrometry. CRC Press; 2005.
2. *Aleksandrova DA, Melamed TB, Baberkina EP, Kovalenko AE, Kuznetsov VV, Kuznetsov VV, Fenin AA, Shaltaeva YR, Belyakov VV.* // J.Anal.Chem. 2021. Vol. 76. P. 1282–9. DOI: 10.1134/S1061934821110022.
3. *Hinz J, Mekonnen T F., Bergrath J, Sewell S, Schneck Y, Wirtz M, Telgheder U.* // Journal of Chromatography Open. 2023. Vol. 4. P. 100102. DOI: 10.1016/j.jcoa.2023.100102

ГИДРОПЕРОКСИЛЬНЫЕ РАДИКАЛЫ (HOO·) В ОРГАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РЕКОМБИНАЦИИ

Румянцева Л.А., ***Москаленко И.В., Золотовский К.А.***

Университет ИТМО

197101 Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А. E-mail:lubavarumka@gmail.com

Гидропероксильные радикалы ведут цепи при окислении многих органических соединений, таких как 1,4-циклогексадиен и замещенные 1,2 этилены, участвует в процессах окислительной деградации липидов и ДНК. Кроме того, HO_2 регенерируют полифенолы и нитроксильные радикалы. HOO· участвует в работе соантиоксидантных систем, поэтому важно учитывать реакции не только продолжения цепи, но и обрыва цепи.

Обычно обрыв цепи гидропероксидными радикалами рассматривается как процесс димеризации с образованием пероксида водорода и кислорода (HOO· + HOO·→ [H-O-O-O-O-H] → H_2O_2 + $^1O_2$). Однако в случае замены водорода на дейтерий проявляется аномально большой кинетический изотопный эффект (КИЭ), что заставляет усомниться в данном механизме. Низкая энергия связи O-H в гидроперксильном радикале позволяет ему участвовать в реакциях отрыва атома водорода (HAT). Таким образом, теоретически возможен обрыв цепи через реакцию HAT между двумя гидропероксильными радикалами.

Было найдено 24 переходных состояния (ПС) для данной реакции. При помощи Intrinsic Reaction Coordinate (IRC) были найдены реагенты и продукты для каждого ПС. Выяснилось, что предпочтительным механизмом оказался HAT. Кроме того были рассчитаны КИЭ для найденных ПС и энергии активации для них.

Для самого простого случая обрыв цепи происходит не через рекомбинацию, а через отрыв атома водорода. В дальнейшем будут рассмотрены реакции обрыва цепи между гидропероксильными радикалами и другими органическими пероксильными радикалами.

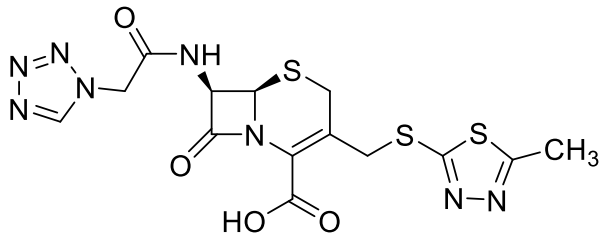
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И DFT РАСЧЁТ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСОВ ЦЕФАЗОЛИНА

Соколова Е.С.*, *Алексеев В.Г.

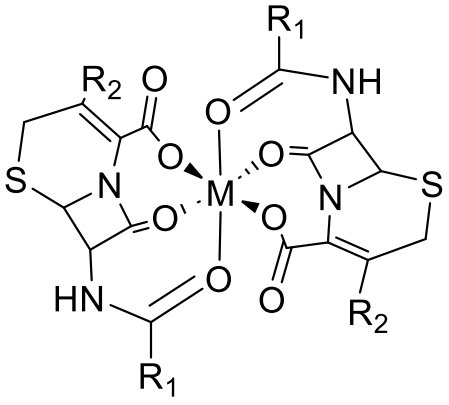
Тверской государственный университет, Тверь

esokolova1210@mail.ru

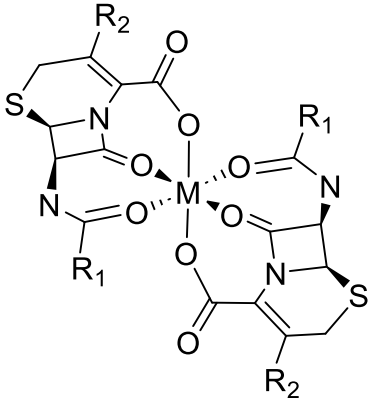
Цефазолин – широко используемый в медицине цефалоспориновый антибиотик.



Билигандные металлокомплексы цефазолина с Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II) и Cd(II) выделены в твёрдом состоянии из водных растворов и исследованы методами электронно-зондового микроанализа (электронный микроскоп JEOL JSM-6610LV с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350), термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии (Netzsch STA 449 F3 Jupiter), ИК спектроскопии (Bruker Equinox 55). В ИК спектрах наблюдается смещение полос валентных колебаний ν(C=O) амидной, бета-лактамной групп и $\nu(COO^{-})_{as}$ карбоксилатной группы в сторону более высоких частот по сравнению со спектром NaCxm, что можно расценивать как координацию этих групп с металлами. Расчёт компьютерных моделей комплексов методом DFT/B3LYP-D3/LACVP**++ показал, что взаимная ориентация лигандов в комплексах может быть различной. По расположению карбоксилатных групп эти структуры можно назвать *цис*- и *транс*-изомерами:



Цис-изомер



Транс-изомер

СЕКЦИЯ 4

АНАЛИТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

ПОСТРОЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ

***Акимова А.И.*, Редькин Н.А., Онучак Л.А.**

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

redkin.na@ssau.ru

Определение концентрации загрязнителей в природных водах является в экомониторинге важнейшей задачей, для реализации которой используют широкий спектр химических, физико-химических и физических методов анализа. Правильное определение концентраций загрязнителей позволяет не только оценить безопасность воды водоемов. За последние годы собран большой объем данных, позволяющих как проследить в динамике эволюцию водоемов, так и оценить ущерб и скорость восстановления водоема после попадания в них токсичных сбросов. Вместе с тем, большой объем обрабатываемых данных не исключает включения в обрабатываемые данные ошибочных, а также неверной интерпретации результатов расчетов. Именно поэтому, для обработки таких данных широко используются методы математической статистики. Статистическая обработка результатов там более становится актуальной на фоне применения машинного обучения и использования больших языковых моделей, которые далеко не всегда способны самостоятельно исключить неверные данные.

Целью данной работы было определение возможности использования данных экомониторинга для построения профилей водоемов с учетом статистической значимости результатов.

В рамках данной работы были собраны и статистически обработаны данные по содержанию 10 основных компонентов, таких как нитраты, нитриты, сульфаты, ионы аммония, ПАВ и металлы для 6 водоемов Самарской области. Было показано, что несмотря на то, что концентрации каждого из рассматриваемых компонентов зависит от большого ряда факторов, включая наличие промышленных стоков и активности микроорганизмов, они могут быть использованы для характеристики водоемов и прогнозирования их развития. Были построены профили для водоемов и проведена оценка доверительного интервала для каждого из использованных параметров. Подобные профили позволяют наглядно оценить влияние выбросов на состояние водоемов. Для ряда водоемов были выявлены сезонные колебания концентраций компонентов, требующие учета при построении этих профилей.

Результаты статистической обработки данных по содержанию загрязняющих компонентов в одах также может быть использовано для построения математических моделей (образов) водоемов с использованием методов хемометрики и ИИ, что позволит минимизировать ошибки использования данных более удобных методов прогнозирования.

ХИМИЧЕСКОЕ ВЫВЕТРИВАНИЕ БЕТОНА ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ

Алексеев Д.В., [1] ***Тихомирова И.Ю.,*** [1] ***Панова Е.Г.*** [2]

[1]*РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург,* [2]*СПбГУ, Санкт-Петербург*

alekseev_north@mail.ru

Бетонные взлетно-посадочные полосы подвергаются интенсивному процессу выветривания под действием физических, химических и биологических факторов. Несмотря на наличие работ по исследованию долговременной стойкости и процессов деградации бетонных покрытий, исследования процессов выветривания в условиях специфических нагрузок взлетно-посадочных полос остаются неполными.

Исследованию были подвергнуты 15 образцов бетона взлетно-посадочной полосы из зон с различной механической нагрузкой, в том числе 4 образца (№№12-15), полученных из подповерхностных слоев бетонного покрытия, где отсутствует прямой контакт с атмосферой. Экспериментально были определены потери при прокаливании ($ППП_{550}$, $ППП_{900}$, %), гигроскопическая влажность $W_г$, %). Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Гигроскопическая влажность и потери при прокаливании бетонов взлетно-посадочной полосы

№	Место отбора пробы	Гигроскопическая влажность ($W_г$, %)	$ППП_{550}$, %	$ППП_{900}$, %
1	поверхность	2.19	6.48	14.3
2	поверхность	1.99	4.95	5.66
3	поверхность	1.67	4.60	5.92
4	поверхность	2.61	5.08	8.40
5	поверхность	1.34	5.25	7.56
6	поверхность	3.24	7.16	9.87
7	поверхность	2.48	4.22	5.95
8	поверхность	1.83	4.36	6.84
9	поверхность	2.56	3.57	5.22
10	поверхность	1.65	3.51	6.18
11	поверхность	2.20	4.42	7.20
12	подповерхностный	2.53	5.19	8.92
13	подповерхностный	1.85	5.43	7.58
14	подповерхностный	2.24	4.90	5.08
15	подповерхностный	2.65	2.90	4.31

Образцы поверхностного слоя бетона взлетно-посадочной полосы характеризуются меньшей гигроскопической влажностью ($W_{гср}$=2.16%) по сравнению с образцами подповерхностного слоя ($W_{гср}$=2.32%); большими величинами потерь при прокаливании при 550ºС ($ППП_{550}$=4.87% и 4.61% соответственно) и потерь при прокаливании при 900ºС (7.55% и 6.47%).

Для оценки микроструктуры бетона использовались сканирующая электронная микроскопия и микрорентгеноспектральный анализ, которые позволили обнаружить в бетоне значительное количество крупных обломков наполнителя (кварц, калиевый полевой шпат, биотит), которые при механической нагрузке могут способствовать образованию неоднородностей в объеме бетонного покрытия.

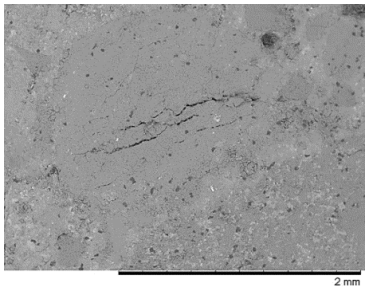


Рисунок 1. Трещины, образовавшиеся в зерне калиевого полевого шпата

Неоднородности в структуре бетона под действием механической нагрузки способствуют формированию полостей, в которых в ходе процесса выветривания формируются игольчатые кристаллы сульфата кальция. Помимо снижения прочности бетона за счет формирования полостей, кристаллизационное давление при формировании кристаллов сульфата кальция способствует расширению существующих и формированию новых микротрещин, снижающих механические свойства бетонного покрытия и ускоряющие его выветривание под действием химических и биологических факторов. Подобные изменения были замечены авторами, исследующими подобные объекты в Китае [1].

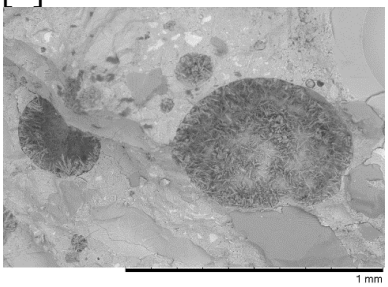


Рисунок 2. Игольчатые кристаллы гипса, образовавшиеся в полостях бетона

Указанные процессы отмечаются и в поверхностных, и в подповерхностных слоях бетонного покрытия. В то же время образцы поверхностного слоя бетонного покрытия характеризуются большей трещиноватостью, формируемой под действием механических нагрузок.

Процесс выветривания является циклическим и самоподдерживающимся: за счёт механической нагрузки формируются первичные неоднородности в объёме бетона, в которых образуются кристаллы гипса и под действием кристаллизационного давления формируются новые неоднородности и микротрещины, ускоряющие дальнейшую деградацию бетонного покрытия под действием факторов окружающей среды.

Список литературы

1. *Yin G.-J., Wen X.-D., Miao L., Cui D., Zuo X.-B., Tang Y.-J.* // Coatings. 2023. Vol. 13. N 1. DOI: 10.3390/coatings13010174

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКСИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА РОСТ ТОМАТОВ

Банда Д., Дансоко С., Бузько В.Ю., Сухно И.В., Полушин А.А.

Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, Краснодар

sukhno_igor@mail.ru

Оксидные наночастицы в последние годы рассматриваются в качестве перспективных агрохимикатов в качестве пестицидов и микроэлементных минеральных удобрений для различных сельскохозяйственных культур. Это связано с их специфичными физико-химическими свойствами и с наличием в их составе микроэлементов с высокой степенью биодоступности. Несмотря на многие опубликованные изучения влияния оксидных наноматериалов на различные сельхозкультуры, на сегодняшний день вопрос о влиянии метода синтеза наноматериала на его биохимическую активность остается слабоизученным.

Исследовано влияние наночастиц ZnO и Fe_3O_4 различных методов синтеза на процессы роста растений томата сорта «Ранняя пташка». Исследования производились для образцов наноматериалов, внесенных в земляно-торфяной грунт с концентрацией 10 г/кг с поливом дистиллированной водой. Измерялись морфологические характеристики растений томата с момента внесения наноматериала в грунт и до 14 дней выращивания. Измеряли на 14 день содержание общей воды в листьях томата методом термогравиметрии и площади корневой системы спектрофотометрически по методу Сабинина и Колосова [1].

Обнаружено, что биохимическая активность наночастиц ZnO уменьшается в ряду методов: гидролитический > гидротермальный > золь-гель пирохимический. Исследованные образцы наноматериалов ZnO интенсифицировали с разной эффективностью рост томата, образцы гидролитического ZnO приводили к гибели ~25% образцов. Наибольшее влияние наночастицы ZnO оказывали на уменьшение до 5.8% содержания воды в листьях растений томата и на уменьшения ~30% площади поверхности корневой системы.

Обнаружено, что биохимическая активность наночастиц Fe_3O_4 уменьшается в ряду методов: гидролитический > природного происхождения. Оба образца наноматериалов Fe_3O_4 интенсифицировали с разной эффективностью рост томата, образец гидролитического синтеза приводил к гибели ~10% растений на 10 день. Наибольшее влияние наночастицы Fe_3O_4 оказывали на уменьшение до 4.3% содержания воды в листьях растений томата и на уменьшения ~22% площади поверхности корневой системы.

Список литературы

1.*Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М.* Краткий справочник по физиологии растений. 2-е изд., испр. и доп. Киев : Наук.думка, 1973. - 591 с.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШУНГИТА ОНЕЖСКОЙ СТРУКТУРЫ

Григорьевский Я.М.,[1] Тихомирова И.Ю.,[1] Панова Е.Г.[2]

[1]РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, [2]СПбГУ, Санкт-Петербург

yarikkz06@gmail.com

До настоящего времени порода шунгит в промышленных масштабах выявлена только в Карелии, в северной части Онежского озера. Шунгитовое углеродистое вещество является продуктом высокой степени карбонизации углеводородов. Изучение физико-химических характеристик шунгитовых пород необходимо для оценки шунгита как комплексного минерального сырья с перспективой использования в строительной промышленности, в химических производствах, процессах водоочистки, сельском хозяйстве, медицине [1]. Шуньгинская штольня – историческая горная выработка высокоуглеродистой шунгитовой породы находится под охраной государства с 1981года как памятник природы регионального значения. Шунгитовая порода в п. Шуньга по классификации П.А.Борисова (1956) относится к IIIА горизонту заонежской свиты, в котором шунгитовое вещество содержит 20-35% углерода. Минеральный состав месторождения отличается разнообразием, включая кремнистые, карбонатные и терригенные компоненты [2, 3].

Цель исследования: определение физико-химических параметров образцов шунгитсодержащих пород Шуньгинского разреза.

Объектами исследования являлись 13 проб шунгита, отобранных в штольне. Проведено определение гигроскопической влажности ($W_г$, %), величины максимального водопоглощения (W_{max},%) гравиметрическим методом, объемной массы (кажущейся плотности – $\rho_к$, г/см^3) шунгитовых пород по воде методом пикнометрии, содержание углерода по методу Тюрина ($С_{орг}$, %) методом редоксиметрии, методом гравиметрии определены потери при прокаливании при 550ºС и 900 ºС ($ППП_{550}$, $ППП_{900}$,%). Исследования проводились в лабораториях факультета химии РГПУ им. А.И.Герцена. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерения величин гигроскопической влажности, максимального водопоглощения, кажущейся плотности, потерь при прокаливании (550 ºС и 900°С) и содержания органического углерода в исследованных образцах шунгитовых пород

№	$W_г$, %	W_{max}, %	$\rho_к$, г/см^3	$ППП_{550}$, %	$ППП_{900}$, %	$С_{орг}$, %
1	0.19	0.98	2.46	27.76	30.17	1.37
2	2.91	5.88	2.54	27.15	55.41	-
4	8.34	13.34	3.39	63.65	51.02	-
5	3.41	6.32	2.27	70.60	62.32	-
6	0.20	0.48	1.89	99.16	99.67	7.52

7	0.22	0.37	1.94	82.59	99.38	11.24
8	2.70	4.19	2.04	51.33	70.38	-
9	2.41	5.17	1.90	91.67	94.57	9.96
10	0.25	0.48	1.94	83.62	94.16	7.60
11	0.75	1.37	2.05	46.90	78.21	-
12	0.23	0.45	2.17	70.09	89.37	-
13	1.89	5.99	1.21	36.35	74.48	5.37
14	0.30	2.08	2.09	31.58	70.63	10.67

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Гигроскопическая влажность образцов варьировалась в пределах от 0.2% до 3%, (за исключением – образца №4 – 8.34%). Предельный сорбционный объем при 100% влажности составил от 0.4-6% (№4 -13.34%). Шунгтовая порода характеризуется малой сорбционной активностью по отношению к воде.
2. Кажущаяся плотность шунгитовой породы по воде показывает отношение массы образца к объему без учета объема пор и определялась в раздробленной породе с размером частиц 1-3мм пикнометрическим методом. Пикнометрическая плотность образцов изменяется в пределах от 1.21 до 3.39г/см³, среднее значение составило 2.17 г/см³, что находится в соответствии с данными [1] и подтверждает значительную вариативность минерального состава и структуры пород
3. Термическая устойчивость оценивалась по величине потерь при прокаливании в муфельной печи при 550ºС и 900ºС. Потери при прокаливании ($ППП_{900}$) отражают содержание летучих компонентов, включая органическое вещество, гидратную воду и карбонаты. Полученные результаты свидетельствуют о термической неустойчивости шунгитов. Большая часть (80%) образцов ШП разложились практически полностью уже при 550ºС. Значения потерь при прокаливании варьируются в диапазоне от 30.17% до 99.67%, что подтверждает неоднородность образцов шунгитовых пород по химическому составу.
4. Содержание органического углерода ($С_{орг}$), определенное методом Тюрина по величине затраченного на окисление дихромата калия колеблется от 1.37% до 11.24%, что свидетельствует о неполном окислении углерода в шунгите в данных условиях.

Список литературы

1. *Калинин Ю.К., Калинин А.И., Скоробогатов Г.А.* Шунгиты Карелии – для новых стройматериалов, в химическом синтезе, газоочистке, водоподготовке и медицине. СПб.: УНЦХ СПбГУ. ВВМ. 2008. 219с.
2. *Дейнес Ю.Е., Ковалевский В.В., Кочнева И.В., Мошников И.А., Рожкова В.С.* // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. №. 2. С. 84-89.
3. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011, 431 с. + 1 вкл., ил. 233, табл. 76. Библиогр. назв. 718. ISBN 978-5-9274-0456-8

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО ГУМУСА В ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВАХ РОССИИ

Дорохова А.А.*, *Кутяшева Н.В.*, *Лиходумова И.Н.

ООО «УРАЛСТРОЙЛАБ», Челябинск

Knatali1706@mail.ru

Гумус – это сложный комплекс органических соединений, составляющий основу органического вещества почвы и определяющий уровень ее плодородия [1].

Содержание гумуса в почвах варьируется в зависимости от условий окружающей среды, их типовой принадлежности, характера землепользования. Наиболее высокими количественными и качественными показателями содержания гумуса отличаются чернозёмы. Их гумусово-аккумулятивный горизонт обладает следующими признаками: интенсивная тёмная окраска, максимальная для почв такого типа мощность (до 1,5 метров), высокое содержание гумуса и азота с постепенным, плавным уменьшением их концентрации по профилю [2].

Высокое содержание гумуса и специфическое соотношение его компонентов обусловлено тем, что главным источником формирования гумуса является ежегодно отмирающая надземная масса травянистой растительности.

Объектами исследований послужили выщелоченные чернозёмы Рамонского района Воронежской области и Приобской равнины Западной Сибири, черноземы обыкновенные Мясниковского района Ростовской области и Приобской равнины Западной Сибири [3]. Пробы отбирались по общепринятой методике согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017. В подготовленных пробах содержание органического вещества (гумуса) определяли по методу Тюрина в соответствии ГОСТ 26213-2021 (фотометрическим методом). Полученные результаты исследования представлены в виде диаграмм (рисунки 1 и 2 соответственно).

Данные по содержанию гумуса в исследуемых черноземах представлены ниже (рис. 1, рис. 2). Содержание гумуса в исследуемых почвах варьируется в пределах от малогумусных (4,2 %, Ростовская область) до высокогумусных (6.7 – 6.8 %, Приобская равнина Западной Сибири). Выявлено закономерное внутрипрофильное снижение содержания гумуса, при этом наиболее резкое его уменьшение характерно для черноземов Западной Сибири, что, видимо, связано с особенностями протекания гумусонакопления в разных климатических условиях (табл. 1).

Таблица 1. Показатели климата природных зон равнинных территорий Западной Сибири

	Воронежская область	**Ростовская область**	**Юг Западной Сибири**
Радиационный баланс, ккал/см^2	36-37	47-49	36-40
Сумма температур >10°С	2400-2900	3100-3400	1900-2000
Осадки (годовые), мм	450-550	350-550	300-350

Испаряемость годовая, мм	600-800	750-800	550-600
ГТК по Селянинову	0.9-1.1	0.64-0.82	0.8-0.9

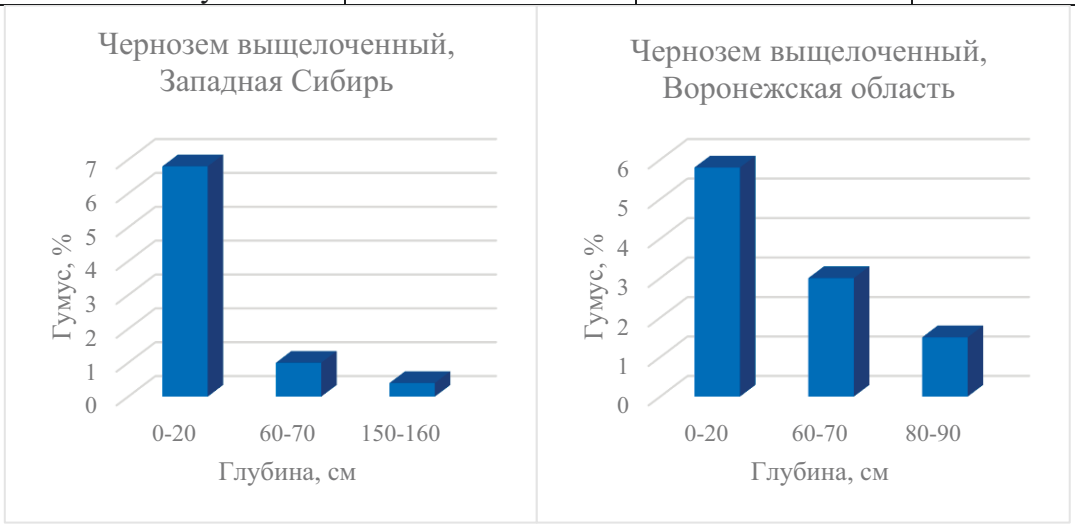


Рисунок 1. Содержание гумуса чернозёма выщелоченного (Западная Сибирь и Воронежская область)

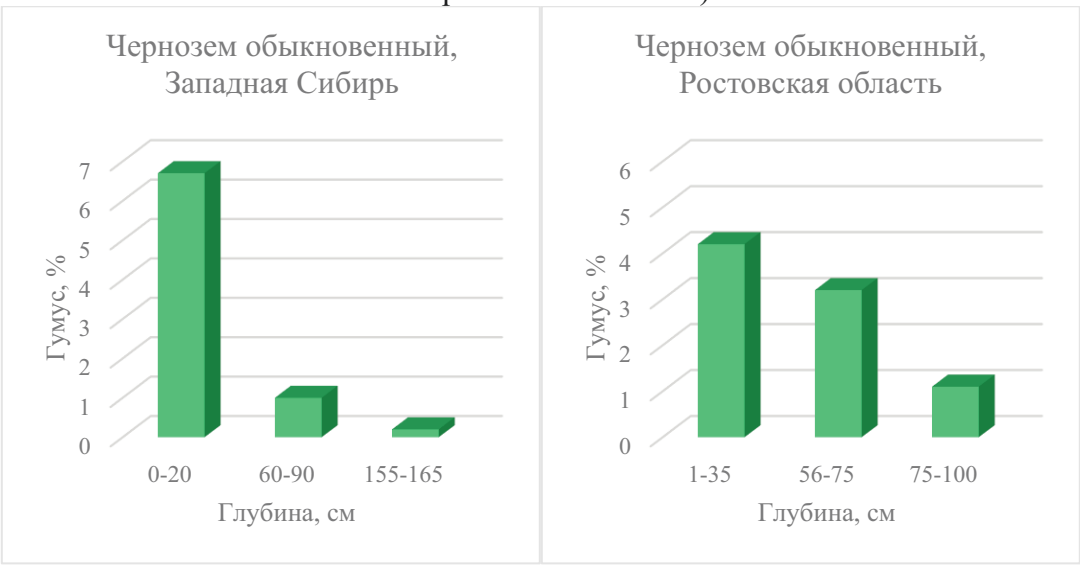


Рисунок 2. Содержание гумуса чернозёма обыкновенного (Западная Сибирь и Ростовская область)

Таким образом, наблюдается закономерное региональные изменения содержания гумуса у разных типов черноземных почв.

Список литературы

1. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Ленинград: Наука, 1980. – 288 с.
2. *Громовик А.И.* Трансформация гумусного состояния чернозема, выщелоченного при длительном применении удобрений в зерносвекловичном севообороте: Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. н. – В., 2009. – 169 с.
3. *Сысо А.И.* Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири : [монография] / А. И. Сысо ; отв. ред. И. М. Гаджиев ; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. 274 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ТРАВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Дурбажев Е.В.*, *Давыдова Е.Г.*, *Шишов А.Ю.

СПбГУ, Санкт-Петербург

egor1286x@mail.com

Широко применяемым скрининговым методом оценки антиоксидантной активности (АОА) остаётся спектрофотометрический метод с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH). Однако, его простота сопряжена с рядом ограничений: кинетическим и стехиометрическим различиям в реакции для различных БАВ, влиянием среды растворителя [1], а также вариабельностью результатов из-за различий в лабораторных протоколах [2]. Особую сложность при использовании ГЭР создаёт их собственная, зачастую значимая, антиоксидантная активность, которая может оказывать мешающее влияние при оценке АОА растительных экстрактов. Это определяет актуальность данного исследования, задачей которого стала разработка скорректированной методики, учитывающей вклад эвтектического растворителя.

Установлено, что ГЭР на основе полиолов значимо не влияют на результаты, однако присутствие в составе этиленгликоля/фруктозы дает некоторый эффект. Наибольшее собственное поглощение радикалов показали системы глицин–молочная кислота (в 5 раз выше контроля) и холин хлорид–малоновая кислота (в 2,5 раза). Следует отметить, что время инкубации зависит от условий: повышение температуры до 30 °C сокращает время достижения равновесия до 20 минут, а перемешивание ускоряет процесс до 5 минут, но при этом снижает концентрацию активных радикалов на 10%.

Таким образом, при адаптации методики к системам, содержащим ГЭР, необходим обязательный контроль фоновой активности ГЭР и оптимизация условий инкубации.

Список литературы

1. *Dawidowicz AL, Olszowy M, Jóźwik-Dolęba M.* // J Food Sci Technol. 2015. Vol. 52. N 7. P. 4523-9. DOI: 10.1007/s13197-014-1451-2.
2. Om P. Sharma, Tej K. Bhat. // Food chemistry. 2009. Vol. 113. N. 4. P. 1202. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.08.008.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 25-73-10071). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава вещества).

ИССЛЕДОВАНИЕ ХЛОРОФИЛЛОВ РАСТЕНИЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБОРА ДУАЛЕКС

Зайцева А.А.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», НИУ «БелГУ», Белгород

alisa.zaytseva.03@inbox.ru

Прибор Дуалекс – это портативный оптический прибор, используемый для бесконтактного измерения уровня хлорофилла (важного показателя азота), флавоноидов и индекса азотного баланса (NBI) в листьях растений. Дуалекс обеспечивает точные, воспроизводимые измерения хлорофилла непосредственно на листе, за считанные секунды и без разрушительного отбора проб. Прибор обеспечивает доказанную корреляцию с лабораторными анализами, высокую производительность. Прибор портативный и простой в использовании [1].

Современное виноградарство, например, требует точного понимания особенностей баланса азота и хлорофилла в динамике, поэтому так важно применять неразрушающие методы экспресс-анализа. А индекс NBI помогает своевременно принимать обоснованные решения о внесении азота при выращивании различных культур, включая зерновые. Применение прибора Дуалекс открывает новые возможности для точного земледелия.

Хлорофиллы являются важнейшими пигментами растений, важными составляющими различных процессов в нашей жизни, поэтому большое внимание уделяется разработке экспресс методов анализа хлорофилла [2]. И прибор Дуалекс может быть использован для этой цели.

При исследовании хлорофиллов растений экспресс-методом прибор Дуалекс показывает не абсолютные значения концентрации хлорофилла в растениях, поэтому необходима градуировка прибора, например спектрофотометрическим методом. Можно использовать метод Фирордта.

Для проведения градуировки, в первую очередь, необходимо было выяснить, достаточно ли провести градуировку один раз и использовать ее для любых растений, или необходима градуировка для каждого вида растений.

В данной работе был проведен анализ восьми видов различных растений Зимнего сада Белгородского государственного национального исследовательского университета с использованием прибора Дуалекс и параллельно был проведен анализ этих же растений и этих же образцов спектрофотометрическим методом по Фирордту.

Определение хлорофиллов на приборе Дуалекс проводилось следующим образом: выбиралось растение, с помощью специального приспособления вырезалось по несколько кружков образца с одинаковой площадью поверхности и далее проводилось измерение каждого фрагмента по 7 раз, при этом перед каждым измерением образец растения вынимали из разъема прибора.

Проводилась статистическая обработка полученных результатов. Для проведения спектрофотометрического определения содержания хлорофиллов в этом же растении, эти образцы после измерения на приборе, взвешивали на аналитических весах, проводилась исчерпывающая экстракцию смесью 70% этанола и 30% дистиллированной воды. Полученную суспензию фильтровали через бумажный фильтр в мерную колбу и проводили измерения спектрофотометрическим методом при двух длинах волн 649 нм и 664 нм, по результатам измерений рассчитывают суммарную концентрация хлорофиллов и концентрации хлорофилла *a* и хлорофилла *b* в мг/л.

Экспериментальные данные спектрофотометрического анализа показали, что суммарное содержание хлорофилла в исследованных растениях изменяется от 0,902 мг/л до 8,661 мг/л и практически для всех растений содержание хлорофилла *b* примерно в 2 раза меньше, чем содержание хлорофилла *a*.

Далее были сопоставлены параметры измерения содержания хлорофилла в различных растениях двумя методами (Табл. 1).

Таблица 1. Определение содержания хлорофилла с использование прибора Дуалекс и по методу Фирордта

1*	1	2	3	4	5	6	7	8
2*	43.20	50.20	64.30	53.80	41.30	58.60	33.60	48.90
3*	5.68	5.68	8.66	3.69	0.90	6.27	2.13	3.34

1- порядковый номер растения:*
2- показания прибора Дуалекс*
3- суммарное содержание хлорофиллов в растениях (мг/л).*

Как видно из таблицы, вид растения и содержания в нем хлорофилла значительно влияют на показатели прибора Дуалекс. В общем виде наблюдается увеличение показаний прибора Дуалекс с увеличением суммарного содержания хлорофилла в растениях. Но точной корреляции для разных растений нет. Для одного вида растений корреляция хорошая. Для более точной корреляции большого круга растений необходимо расширить количество объектов.

В работе было проведено установление точности и воспроизводимости работы прибора методом статистической обработки большого количества измерений. В результате величина дисперсии показаний прибора Дуалекс для исследуемых объектов растений оказалось очень незначительной, что свидетельствует о хорошей точности и воспроизводимости работы прибора.

На данном этапе можно сделать вывод, что для использования прибора Дуалекс желательно проводить калибровку для каждого нового вида растений.

Список литературы

1. https://azimp-micro.ru/info/news/portativnyy-pribor-dualex/
2. *Л. Ф. Кабашникова* // Журнал Науки и инновации. 2018. № 179. С. 65–69.

ТВЕРДОКОНТАКТНЫЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ(НИЛЬСКОГО СИНЕГО), ЭЛЕКТРОПОЛИМЕРИЗОВАННОГО ИЗ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Каниболоцкий Н.Ю.*, *Сорвин М.И.

КФУ, Казань

nykanibolockiy@kpfu.ru

Одним из актуальных направлений аналитической химии является разработка простых, экспрессных и недорогих потенциометрических сенсоров, которые позволяют определять широкий круг неорганических и органических аналитов с высокой чувствительностью и селективностью. Малый размер получаемых электрохимических устройств по сравнению с традиционными твердотельными электродами в перспективе делает возможным их интеграцию в микрофлюидные системы («lab-on-a-chip»).

В данном исследовании в качестве платформы для создания твердоконтактного потенциометрического сенсора был использован печатный графитовый электрод, изготовленный методом трафаретной печати на поликарбонатной пленке. Электроды представляли собой серебряные дорожки, покрытые отверждаемой графитовой пастой и изолирующим покрытием. Нильский синий является представителем ряда феноксазиновых красителей и обладает электрохимической активностью, которая позволила использовать его полимерную форму в качестве модификатора рабочей поверхности электрода.

Потенциометрический сенсор представлял собой печатный графитовый электрод, модифицированный поли(Нильским синим), электрополимеризованным из глубоких эвтектических растворителей - релина, эталина или глицелина. Природа компонентов глубоких эвтектических растворителей влияла на эффективность электрополимеризации и морфологию полученных полимерных покрытий. Показана возможность определения дофамина и аскорбиновой кислоты с помощью разработанных сенсоров.

Установлено, что чувствительность определения зависит от природы глубокого эвтектического растворителя, используемого на стадии получения полимерного покрытия. Для ПУЭ/ПНС(РЕЛ) характеристики определения аскорбиновой кислоты составили 59.1 мВ/pC, $5 \times 10^{-3} \div 2 \times 10^{-6}$ М, при использовании ПУЭ/ПНС(ГЛИ) и ПУЭ/ПНС(ЭТА) наклоны превышали значения, характерные для нернстовской зависимости. При определении дофамина на ПУЭ/ПНС(РЕЛ) наклон зависимости составил 23.4 мВ/pC с диапазоном $1 \times 10^{-2} \div 5 \times 10^{-6}$ М. Сенсор ПУЭ/ПНС(ГЛИ) не проявлял чувствительности по отношению к дофамину. Сенсоры были апробированы для определения дофамина в растворах для инъекций и аскорбиновой кислоты в образцах витаминов.

БИОСЕНСОР НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЛКИЛИРУЮЩИХ И ИНТЕРКАЛИРУЮЩИХ АГЕНТОВ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ДНК

Карагузина К.Р.*, *Стойков Д.И.

КФУ, Казань

krkaraguzina@kpfu.ru

Разработка высокочувствительных и селективных биосенсорных платформ представляет собой одно из наиболее актуальных и развивающихся направлений в современной электроаналитической химии. Одной из главных перспектив их практической реализации является создание на их основе портативных, экономически эффективных и удобных в эксплуатации анализаторов, которые способны функционировать в режиме «у постели больного» (point-of-care). Принципиальным преимуществом таких систем является возможность проведения точных аналитических измерений вне стен специализированных лабораторий и без привлечения высококвалифицированного персонала, что существенно повышает доступность современных диагностических технологий.

В данном исследовании в качестве универсальной платформы для создания биосенсоров был успешно применен нетканый углеродный материал – углеродная вуаль. Благодаря своей высокопористой структуре материал обеспечивает многократное увеличение эффективной площади электродной поверхности по сравнению с ее геометрическими размерами. За счет трехмерной пористой структуры углеродная вуаль показала высокоэффективную способность удерживать в своем объеме биомолекулы, что позволило наблюдать существенное повышение чувствительности и снижение пределов обнаружения аналитов. Полученные результаты демонстрируют потенциал внедрения углеродной вуали в состав различного рода электрохимических сенсоров и биосенсоров.

При создании ДНК-сенсора был разработан углеродновуалевый-пастовый электрод, в котором проводящая фаза состояла из механически диспергированной углеродной вуали, равномерно распределенной в жидком парафине, выполняющем роль связующего. Принципиально новым компонентом разработанной системы является дифитольное производное тетраметилэтилендиамина. Данный подход позволил сформировать универсальную иммобилизационную платформу, эффективно удерживающую нативные молкулы ДНК, а также обеспечила возможность совместного включения ДиФитТМЭДА и ДНК непосредственно в состав углеродновуалевой пасты. Поверхность электрода и состав двойного электрического слоя были охарактеризованы методом спектроскопии электрохимического импеданса. Важнейшим результатом проведенных исследований стала демонстрация высокой чувствительности созданной сенсорной системы в отношении противоопухолевого препарата интеркалирующего действия – доксорубицина (c_{lim}=0.7 фМ), а также цитостатика алкилирующего действия – дакарбазина (0.2 нМ). Предложенный подход открывает перспективы для разработки аналитических систем нового поколения, предназначенных для мониторинга фармацевтических препаратов в режиме реального времени, что имеет фундаментальное значение для развития персонализированной медицины, экомониторинга и различных фармакокинетических исследований.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-10116, https://rscf.ru/project/25-73-10116/

МИКРОЭКСТРАКЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПЕНИЦИЛЛИНОВ В СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЙ РАСТВОРИТЕЛЬ НА ОСНОВЕ КОКОИЛГЛУТАМАТА НАТРИЯ ДЛЯ ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ В МОЛОКЕ

***Карипова Д.Р.*, Лодянов Ю.О., Почивалов А.С., Булатов А.В.**

Институт химии, СПбГУ, Санкт-Петербург

st136667@student.spbu.ru

Первостепенное значение в аналитической химии имеет правильная пробоподготовка, которая направлена на приведение пробы в удобную для анализа форму. Для решения этой задачи широко применяются методы разделения и концентрирования. Одним из подходов, который представляет широкий интерес, является мицеллярная микроэкстракция. В данном методе пробоподготовки получают мицеллярные растворы проб, которые после определённого воздействия разделяются на две макрофазы. Одну из них называют супрамолекулярным растворителем, так как она обогащена поверхностно-активным веществом и извлекает целевые аналиты.

Кокоилглутамат натрия является анионным амфифильным веществом, производным жирных кислот и глутаминовой кислоты. По сравнению с синтетическими поверхностно-активными веществами он является биоразлагаемым и безопасным, кроме того, ранее он не был изучен в качестве амфифила для мицеллярной микроэкстракции.

В данной работе предложен способ определения антибиотиков пенициллиновой группы (ампициллина и амоксициллина) в коровьем молоке с использованием нового супрамолекулярного растворителя на основе кокоилглутамата натрия. Применение антибактериальных лекарственных средств в животноводстве требует контроля остаточных количеств данных веществ в продукции. В ходе исследований было установлено, что образование экстракта наблюдается в присутствии органических кислот. Это позволило сначала проводить осаждение белков молока раствором уксусной и трихлоруксусной кислот, а затем надосадочную жидкость вводить в щелочной раствор амфифила с выделением аналитов в обогащенную амфифилами фазу.

Для повышения степени извлечения антибиотиков в экстракционную систему вводился ион-парный агент – бромтимоловый синий. Предложенный способ был применен для определения пенициллинов в пробах коровьего молока различной жирности методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Пределы обнаружения составили 0.3 и 1 мкг/кг для ампициллина и амоксициллина соответственно.

Работы выполнялись с использованием оборудования РЦ СПбГУ «МАСВ», «РМиКТ», «МРМИ» и «ДФММФН». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-00060, https://rscf.ru/project/25-73-00060/

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРПРОМАЗИНА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО РОДСТВЕННЫХ МОДИФИКАТОРОВ ЭЛЕКТРОДА

Кузин Ю.И.

Казанский федеральный университет, Казань

JIKuzin@kpfu.ru

Производные фенотиазина находят применение в разных сферах человеческой деятельности, в том числе в фармацевтической промышленности. Открытие хлорпромазина и начало его использования в качестве антипсихотического средства считается началом современной психофармакологии. В Российской Федерации хлорпромазин входит в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов [1]. Контроль качества и фармакокинетические исследования препаратов на основе фенотиазина являются актуальными задачами аналитической химии. Литературные примеры электрохимических сенсоров для определения хлорпромазина предполагают использование его собственной редокс-активности при потенциалах около 0.7 В (отн. Ag/AgCl) [2].

В рамках данного исследования предложен подход к снижению рабочего потенциала определения хлорпромазина. На начальном этапе в гомогенных условиях изучали влияние нейролептика на электрохимическое поведение его структурных аналогов - нейтрального красного (НК), метиленового зеленого (МЗ) и метиленового синего (МС). Зарегистрировано разнонаправленное изменение сигналов диффузионно свободных медиаторов при добавлении аналита. С целью конструирования электрохимических сенсоров стеклоуглеродный электрод (СУЭ) модифицировали продуктами электрополимеризации упомянутых производных феназина и фенотиазина.

Электрополимеризацию проводили в потенциодинамическом режиме. Для количественного определения нейролептика использовали квадратно-волновую вольтамперометрию. Выявлено подавление пиков редокс-активных модификаторов при добавлении хлорпромазина в рабочий раствор. Использование принципа структурного родства аналита и модификатора электрода позволило значительно снизить рабочий потенциал определения хлорпромазина (-0.2 В для полиМЗ/СУЭ). Предел обнаружения для полиНК/СУЭ составил 0.2 мкМ. Оценена селективность предложенного подхода.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 12.10.2019 N 2406-р (ред. от 16.04.2024). Собрание законодательства РФ. 2019.
2. *Vinothkumar V., Sakthivel R., Chen S.M., Abinaya M., Kubendhiran S. J.* // Alloys Compd. 2021. Vol. 888. P. 161537.

Работа выполнена за счет предоставленного в 2025 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОРБЦИОННОГО И МЕМБРАННОГО ВЫДЕЛЕНИЯ БИОАКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ: ГЛУБОКИЙ ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ-БИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА

***Мирская Е.И.*, Давыдова Е.Г., Шишов А.Ю.**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

catherinemirskaya@gmail.com

Одной из актуальных задач современной аналитической химии является разработка селективных и экологичных методов выделения биоактивных веществ (БАВ) из экстрадурбажевктов, полученных с помощью глубоких эвтектических растворителей (ГЭР) [1,2]. Перспективным направлением решения этой задачи считается применение сорбционных и мембранных технологий. В настоящей работе проведена сравнительная оценка эффективности сорбционного (с использованием фиброина шелка) и мембранного выделения БАВ из модельных систем «ГЭР–БАВ».

В контрольных условиях на синтетической мембране за 48 часов статических условиях остаточная концентрация составила: для полифенольных кислот – 5–7%, кумаринов – 5–8%, флавоноидов – 1–2%. Исключением стал рутин, сохранивший 26 % исходного содержания, что указывает на его аномальную стабильность в данных условиях. Использование фиброина в сочетании с кислотной обработкой позволило снизить остаточные концентрации кислот и кумаринов до уровня < 1%. Применение высаливающего агента привело к дифференцированным результатам: на мембране показатели остались близки к контролю (кумарин – 9.1%, рутин – 8.9%), тогда как на фиброине наблюдалась высокоселективная сорбция – от практически полного извлечения кумарина и скополетина (0.2%) до частичного сохранения 6,7-дигидроксикумарина (9.1%).

Таким образом, полученные данные демонстрируют высокий потенциал сорбционно-мембранных методов для извлечения БАВ из ГЭР-сред, особенно в сочетании с химической модификацией среды. Результаты формируют основу для разработки экологически безопасных методов выделения и концентрирования биоактивных соединений.

Список литературы

1. *Chevé-Kools E., Choi Y. H., Roullier C., Ruprich-Robert G., Grougnet R., Chapeland-Leclerc F., Hollmann F.* // Green Chemistry. 2025. Vol. 27. N. 28. P. 8360. DOI: 10.1039/D4GC06386D
2. *Raymond M. J., Slater C. S., Savelski M.* //Green Chemistry. 2010. Vol. 12. N. 10. P. 1826. DOI: 10.1039/C003666H

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 25-73-10071). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава вещества).

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ НА КОРЕННЫХ ПОРОДАХ О. ВАЛААМ

Новикова М.А.,[1] Тихомирова И.Ю.,[1] Панова Е.Г.[2]

[1]РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

[2]СПбГУ, Санкт-Петербург

mari.novikova.1211@mail.ru

Формирование почвенного покрова Валаамского архипелага можно считать уникальным примером теснейшей взаимосвязи всех почвообразующих факторов. Вследствие эндогенного происхождения, Валаамский архипелаг сложен магматическими породами, выступающих в качестве почвообразующих – габбро-диабазом, монцонитом, которые отличаются друг от друга по минеральному и химическому составам [1]. Доминирующее значение на химический состав поверхностных почвенных горизонтов Валаама оказывает состав почвообразующей породы. Несмотря на значительное количество исследований почв Северо-Западного региона России, сравнительные данные почв на коренных магматических породах, таких как габбро-диабаз и монцонит, в литературе отсутствуют.

Объектами исследования являлись 5 почвенных образцов (№№12-16) почвенного разреза на монцоните (р-н Гефсиманского скита г. Елеон, вершина) и 6 образцов (№№22-27) – на габбро-диабазе (район метеостанции). Для серии образцов, отобранных по глубине профиля определена гигроскопическая влажность ($W_г$,%), потери при прокаливании ($ППП_{500°C}$, $ППП_{900°C}$,%), максимальное влагопоглощение (W_{max},%), общее содержание органического углерода ($C_{орг}$, %) и гумуса (Г,%) по Тюрину, удельная поверхность по воде (метод БЭТ) ($S_{уд}$, $м^2/г$). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 «Полученные данные в ходе исследования»

№ образца	Глубина, см	$W_г$, %	$ППП_{500}$,%	$ППП_{900}$, %	W_{max}, %	$C_{орг}$, %	Г,%	$S_{уд}$, $м^2/г$
12	0-3	3,65	59,18	59,43	32,79	7,10	12,24	273
13	2(3)-5(8)	0,75	14,42	15,10	14,90	1,15	1,98	184
14	5(8)-15	1,59	4,95	5,53	8,08	0,22	0,38	161
15	16-30	1,11	3,54	4,19	7,59	0,12	0,21	128
16	30-45	1,78	1,46	1,49	6,14	0,05	0,09	89
22	**0-3**	**1,40**	**26,55**	**27,12**	**18,74**	**1,68**	**2,89**	**342**
23	**3-8(12)**	**1,77**	**9,06**	**9,67**	**11,05**	**0,69**	**1,19**	**162**
24	**8(12)-15**	**1,96**	**8,23**	**9,04**	**7,78**	**0,20**	**0,35**	**179**
25	**15-35 см**	**0,50**	**5,46**	**7,69**	**11,11**	**0,23**	**0,39**	**140**
26	**35-(40) 45**	**0,29**	**2,08**	**2,66**	**5,47**	**0,03**	**0,05**	**131**
27	**40(45)-50(52)**	**1,18**	**2,02**	**2,05**	**6,73**	**0,02**	**0,03**	**59**

Установлено, что содержание общего органического углерода и ППП закономерно уменьшаются с увеличением глубины залегания почвы как для профиля на монците, так и для профиля на габбро-диабазе. При этом верхние горизонты почв на базе монцонита характеризуются значительно более высоким содержанием гумуса (до 12,24%) по сравнению с аналогичными горизонтами на габбро-диабазе (до 2,89%). Это объясняется более интенсивным выветриванием габбро-диабаза, приводящим к снижению pH почвенного раствора, что, в свою очередь, препятствует процессам гумификации.

Анализ сорбционных свойств показал, что гигроскопическая влажность и максимальное влагопоглощение имеют тенденцию к снижению с глубиной, что коррелирует с уменьшением удельной поверхности. Наибольшие значения удельной поверхности зафиксированы в верхних горизонтах: 273 м²/г для монцонита и 342 м²/г для габбро-диабаза, что связано с наличием в их составе тонкодисперсных глинистых фракций. Соответственно, в этих же горизонтах наблюдаются и максимальные значения гигроскопической влажности и максимального влагопоглощения. По мере увеличения глубины все три параметра демонстрируют устойчивую тенденцию к снижению, что подтверждает их прямую зависимость друг от друга, что согласуется с положением о том, что гигроскопическая влажность является надёжным индикатором дисперсности и, следовательно, удельной поверхности почвы [2].

Стоит отметить, что экспериментальные значения гигроскопической влажности для габбро-диабаза оказались ниже ожидаемых (3–5%), что может быть связано с интенсивным выщелачиванием и образованием вторичных малогигроскопичных минералов, таких как гётит и гиббсит, закрывающих поры и снижающих доступную поверхность для адсорбции. Также следует учитывать, что более высокое содержание гумуса в монцонитовых почвах дополнительно повышает их гигроскопичность, поскольку органические вещества обладают высокой сорбционной способностью.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что минералогический состав материнской породы оказывает определяющее влияние на химические и физико-химические свойства формирующихся почв.

Список литературы

1. *Шешукова А.А.* // Материалы по изучению русских почв. Вып. 5 (32), СПб.: Изд-во С.-Петерб. Ун-та. 2004. С. 131-135.
2. *М. Р. Шамуратова, А. Б. Абдикамалова, Г. М. Каримова [и др.]* // Universum: химия и биология. 2025. № 7-2(133). С. 25. DOI 10.32743/UniChem.2025.133.7.20289. – EDN CZGFVF

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ БЕТАИНА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БИОАКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ *SALVIA SCLAREA* L.

***Протасов И.Д.*, Давыдова Е.Г., Шишов А.Ю.**

СПбГУ, Санкт-Петербург

protasovivan9@gmail.com

Актуальность настоящего исследования обусловлена задачами «зеленой» химии, направленными на замену традиционных органических растворителей экологичными и эффективными аналогами. Перспективными в этом контексте являются природные глубокие эвтектические растворители (ПГЭР) на основе биосовместимого бетаина, способные повышать стабильность экстрагированных соединений, усиливая их фармакологическую активность. В отличие от других четвертичных аммониевых солей, бетаин лишен побочных эффектов, таких как раздражение кожи, а ПГЭР на его основе позволяют извлекать термолабильные вещества [1].

В качестве объекта исследования был выбран *Salvia sclarea L.* (надземные части). Фармацевтический потенциал этого растения служит основанием для разработки и оптимизации методов выделения биоактивных веществ (БАВ) [2].

В рамках данного исследования решались задачи приготовления эвтектических растворителей на основе бетаина с компонентами различной природы и оптимизация условий извлечения БАВ (процентное содержание воды в составе ПГЭР, температура и продолжительность обработки ультразвуком) с помощью дизайна эксперимента Box-Behnken (RSM). Качественный и количественный анализ экстрактов выполнен методами ВЭЖХ-МС, ВЭЖХ-УФ, ГХ-МС, спектрофотомерии.

Сравнительный анализ экстрактов, полученных с использованием традиционных растворителей и ГЭР на основе бетаина в комбинации с полиолами и сахарными спиртами показал, что подобранные ПГЭР по эффективности экстракции БАВ сопоставимы или превосходят традиционные метанольные и водные экстракты.

Список литературы

1. *Daneshjou S., Khodaverdian S., Dabirmanesh B., Rahimi F., Daneshjoo S., Ghazi F., Khajeh. K.* // J. Mol. Liq. 2017. Vol. 227. P. 21. DOI: 10.1016/j.molliq.2016.11.130.
2. *Jasicka-Misiak I., Poliwoda A., Petecka A., Buslovych O., Shlyapnikov V., Wieczorek P.* // Ecol. Chem. Eng. 2018. Vol. 25. P. 133. DOI: 10.1515/eces-2018-0009.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 25-73-10071). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава вещества, Оптические и лазерные методы исследования вещества, Инновационные технологии композитных материалов).

НОВЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ОПОК АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

***Рахманин К.С.*, Садомцева О.С., Шакирова В.В.**

ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет

им. В.Н. Татищева, г. Астрахань

e-mail: svv_2004@mail.ru

Опоки Астраханского края представляют собой природные алюмосиликаты, обладающие высокой сорбционной активностью за счёт наличия нанопор в структуре [1].

Путем термического взаимодействия опок с карбонатом натрия, с последующей кислотной обработкой, нами был получен новый сорбент – силикагель. Полученный силикагель имеет более низкую влажность (3.96% против 9.55%), более высокую насыпную плотность и удельную поверхность (967.24 м²/г против 843.93 м²/г).

С целью оценки поглотительной способности нового сорбента были изучены процессы сорбции флокулянтов катионного типа марки Praestol [2]. В результате экспериментальных исследований получены изотермы процессов сорбции флокулянта на опоках и силикагеле. Установлено, что модель Фрейндлиха наилучшим образом описывает процесс адсорбции флокулянта как на природных опоках, так и на синтезированном силикагеле. Это подтверждается высокими значениями коэффициента детерминации для обоих сорбентов. Рассчитанные термодинамические параметры процесса свидетельствует об эндотермическом и необратимом характере сорбции, причём при повышенной температуре сорбция протекает быстрее. Эффективность полученного силикагеля подтверждают и значения степени поглощения флокулянта (60 – 70%). Сравнивая величины сорбционной ёмкости и степени поглощения, отметим, что силикагель является наиболее эффективным сорбентом по сравнению с опоками.

Также установлено, что процесс сорбции улучшает флокуляцию и способствует росту флокулирующего эффекта, что может быть связанно с образованием прочных высоковязких сшитых структур на поверхности твёрдой фазы. Таким образом, данное исследование может обеспечить химическую основу для решения проблем экологической безопасности.

Список литературы

1. *Кондрашова А.В., Кузьмина Р.И.* // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №6 (60). С. 94. DOI: 10.23670/IRJ.2017.60.002

2.*Шакирова В.В., Садомцева О.С.* // Естественные науки. 2023. № 3(12). С.20.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНОГО АЛЮМИНИЯ В ГОРИЗОНТАХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ И ДЕРНОВО-ПОДБУРЫХ ПОЧВАХ

***Романенко А.О.*, Федорова Е.Ю., Дорохова А.А., Кутяшева Н.В.**

ООО «УРАЛСТРОЙЛАБ», Челябинск

Knatali1706@mail.ru

Подвижные формы алюминия являются ключевым фактором токсичности в кислых почвах, угнетая развитие корневых систем растений и нарушая биохимические циклы. Их активность и миграция контролируются кислотностью, которая обусловливается наличием ионов водорода и алюминия в почвенном растворе и в поглощающем комплексе. Алюминий переходит в подвижную форму из почвенных минералов под влиянием кислой среды. При низких значениях pH солевой вытяжки его содержание растёт, а токсический эффект увеличивается [1].

Целью работы является сравнение распределения подвижного алюминия по почвенному профилю дерново-подзолистых и дерново-подбурых почв при определении pH и органического вещества.

Объектом исследования были выбраны дерново-подбурые и дерново-подзолистые почвы Ленинградской области с различными литолого-геоморфологическими условиями.

В подготовленных пробах водородный показатель солевой вытяжки определяли потенциометрическим методом по ГОСТ 26483-85, содержание подвижного алюминия – фотометрическим методом с ксиленоловым оранжевым (ГОСТ 26485-85) и содержание органического вещества по методу Тюрина и гравиметрическим методом (ГОСТ 26213-2021). Полученные результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Агрохимические характеристики горизонтов дерново-подзолистых и дерново-подбурых почв.

Горизонт	Глубина, м	Гумус, %	$Al_{подв.}$, ммоль/100 г	$pH_{сол.}$
Дерново-подзол глееватый супесчаный на ледниковых (водно-ледниковых) отложениях (Разрез1)				
O	0.0-0.06	53.89±1.62	0.11±0.03	5.0
AYh	0.06-0.16	3.7±0.6	более 0.6	3.6
Ehh	0.16-0.32	0.26±0.05	0.18±0.01	4.5
BF	0.32-0.63	0.40±0.08	0.17±0.01	4.8
Cg	0.63-0.80	0.53±0.11	менее 0.05	5.3
Дерново-подбур иллювиально-железистый супесчаный на аллювиальных отложениях (Разрез 2)				
AYe	0.0-0.11	3.8±0.6	более 0.6	3.9
BF	0.11-0.33	3.4±0.5	более 0.6	3.9
C1	0.33-0.58	0.26±0.05	0.40±0.03	4.3
C2	0.58-0.86	0.26±0.05	более 0.6	4.0

Горизонт	Глубина, м	Гумус, %	$Al_{подв.}$, ммоль/100 г	$pH_{сол.}$
Дерново-подбур глееватый супесчаный на водно-ледниковых отложениях (Разрез 3)				
AYao	0.0-0.08	63.55±1.91	более 0.6	2.8
BHF	0.08-0.15	2.4±0.5	более 0.6	2.7
BFg	0.15-0.39	1.8±0.4	более 0.6	2.8
BCg	0.39-0.54	0.26±0.05	более 0.6	3.1
Cg	0.54-0.82	0.17±0.03	0.57±0.04	3.4

В результате проведенных исследований для разрезов 1 и 3 обнаружено повышенное содержание гумуса, которое характеризуется органогенным горизонтом (A_0), состоящим из органических остатков таких как опад листьев и неразложившейся травы. Следовательно, при исследовании этих горизонтов содержание гумуса отличное от разреза 2.

В глееватом дерново-подбуре (разрез 3) выявлено высокое содержание алюминия (свыше 0.6 ммоль/100 г) при pH_{KCl} от 2.7 до 3.4. В разрезе 1 горизонт AYh отличается резким повышением подвижных форм алюминия (свыше 0.6 ммоль/100 г), что является отличительной особенностью данного типа почв. Прослеживается явная взаимосвязь между алюминием, органическим веществом и кислотностью почв. Аналогичная тенденция в разрезе 2. При высоком содержании гумуса увеличивается буферная способность почв, что снижает токсичное воздействие алюминия на растительность.

Список литературы

1. Почвоведение : Учеб. пособие / А.И. Горбылева, В.Б. Воробьев, Е.И. Петровский; под ред. А.И. Горбылевой. 2-е изд., перераб. Минск : Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. 400 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *ROSACEAE* ПРИРОДНЫМИ ЭВТЕКТИЧЕСКИМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ САХАРОВ

***Серебрякова Я.В.,** Давыдова Е.Г, Шишов А.Ю.*

СПбГУ, Санкт-Петербург

st117553@student.spbu.ru

Глубокие эвтектические растворители (ГЭР) на основе сахаров являются естественными и биосовместимыми, что позволяет использовать экстракты из лекарственных трав семейства *Rosaceae*, полученных с помощью этих ГЭР в фармацевтике без дополнительной очистки от растворителя. Ввиду зависимости физико-химических свойств ГЭР от температуры, содержания воды существует необходимость оптимизации условий экстрагирования [1,2], для чего используются варианты последовательного двухфакторного поиска (метод 1) или план Бокса-Бенкена (метод 2) в рамках метода поверхности отклика (RSM).

Сравнительный анализ эффективности извлечения биологически активных веществ (БАВ) из *Potentílla erécta*, *Sanguisórba officinális* и *Alchemilla vulgaris* выявил наиболее существенные межмодельные различия в содержании полифенолов в экстрактах, полученных с помощью ГЭР для *P. Erecta* – 202 и 153 мг/г, при экспериментальных показателях – 164 ± 15 и 142 ± 13 мг/г. При этом, метод 1 показал одинаковые оптимальные условия: 10% воды в ГЭР, 75 ºС в течение 45 минут для извлечения полифенолов и танинов. Метод 2: 50% воды в ГЭР, 39 ºС в течение 45 минут – для полифенольных соединений, 40%-водный ГЭР 38 ºС в течение 75 минут – для танинов. Содержание танинов показало близкие значения 108 ± 5 (метод 1) и 99 ± 3 мг/г (метод 2).

Наиболее воспроизводимыми были результаты оптимизации по Бокс-Бенкену, учитывающие сразу несколько условий, показывающие более щадящий температурный режим и показавший сходимость результатов в пределах 5% для всех исследуемых трав.

Список литературы

1. *Chaturvedi S., Gupta P.* // Studies in Natural Products Chemistry. 2021. P. 221-261. DOI:10.1016/B978-0-323-91095-8.00012-X
2. Wanga T., Jiao J., et al. // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis . 2017. Vol. 145. P. 339. DOI: 10.1016/j.jpba.2017.07.002

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 25-73-10071). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава вещества, Оптические и лазерные методы исследования вещества).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРЕМНИЯ В ПОЧВЕ

Серебрянникова К.С., Кутяшева Н.В.

ООО «УРАЛСТРОЙЛАБ», Челябинск

Knatali1706@mail.ru

Кремний является одним из наиболее распространенных элементов в почвах, его концентрация достигает 200-350 г/кг в глинистых и 450-480 г/кг в песчаных типах. Это обуславливает его важную роль в процессах формирования почвы и поддержания ее плодородия. В почвенном покрове кремний преимущественно встречается в виде диоксида и различных алюмосиликатов [1]. Кварц, будучи кристаллической формой кремнезема, отличается высокой устойчивостью к разрушению под воздействием внешних факторов [2]. Вместе с другими крупнозернистыми силикатами, такими как полевой шпат, а также вторичными глинистыми минералами (например, вермикулит), кварц образует минеральный каркас почвы [3].

Существует несколько методов определения кремния в почвах: в одном методе находится валовое содержание кремния, в другом – определяется содержание диоксида кремния.

Цель работы: сравнить два метода определения кремния и выявить их взаимозаменяемость.

Для сравнения методик определения использовали:

1. метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и последующим пересчетом на диоксид кремния (М-МВИ-80-2008);
2. гравиметрический метод (ФР.1.31.2012.13221).

В качестве объекта исследования была взята почва Иркутской области.

Измерение содержания кремния проводилось при λ=251.611 нм на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (модель Avio 560 Max). Результаты определения валового содержания кремния представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты валового определения кремния в почве и пересчет на диоксид кремния (М-МВИ-80-2008).

Методика определения	Номер пробы	Содержание валового кремния		Пересчет на диоксид кремния	
		мг/кг	%	мг/кг	%
М-МВИ-80-2008	1	307444	30.74	658338	65.83
	2	264777	26.48	566974	56.70

Определение диоксида кремния проводилось гравиметрическим методом. Результаты определения диоксида кремния представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты определения диоксида кремния в почве и пересчет на кремний (ФР.1.31.2012.13221).

Методика определения	Номер пробы	Содержание диоксида кремния		Пересчет на кремний	
		мг/кг	%	мг/кг	%
ФР.1.31.2012.13221	1	676731	67.67	316033	31.60
	2	614339	61.43	286896	28.69

Сравнительный анализ, представленный в Таблице 3, выявил расхождение результатов, не превышающее 5 %.

Таблица 3. Сравнение результатов анализа содержания кремния.

Номер пробы	Результаты определения кремния, %		Расхождение между результатами, %
	Метод АЭС с индуктивно-связанной плазмой	Метод гравиметрический	
1	30.74	31.60	0.86
2	26.48	28.69	2.21

Таким образом, можно предположить, что два исследованных метода анализа содержания кремния являются взаимозаменяемыми в пределах допустимой погрешности. Метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой демонстрирует преимущества в плане удобства и снижения трудозатрат, поскольку исключает необходимость использования платиновых или стеклоуглеродных тиглей.

Список литературы

1. *Соколова Т. А., Дронова Т. Я., Толпешта И. И.* Глинистые минералы в почвах. М., 2005.
2. *Russells A.* Soil conditions and plant growth. Oxford, 1988.
3. *Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Суханова Н. И*. Химия почв. М., 2005.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПРОТОЧНАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОЙ ВУАЛИ И СУЛЬФАНИЛАМИДНОГО ПРОИЗВОДНОГО ПИЛЛАР[5]АРЕНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЕМКОСТИ

***Силина Е.Д.*, Карагузина К.Р., Стойков Д.И.**

КФУ, Казань

edsilina@kpfu.ru

В организме и окружающей среде вырабатываются различные активные формы кислорода – свободные радикалы – побочные продукты многих реакций, происходящих в организме человека. Нарушение равновесия между количеством антиоксидантов и свободных радикалов является причиной окислительного повреждения белков, липидов и ДНК. Именно поэтому анализ содержания антиоксидантов и их применение в различных областях, от пищевой промышленности до медицины и фармацевтики, представляет большой интерес для научного сообщества. Электрохимические сенсоры и биосенсоры считаются перспективными инструментами для исследования антиоксидантов благодаря их высокой чувствительности, быстрому времени отклика и простоте миниатюризации.

В данном исследовании нами разработан электрохимический сенсор, состоящий из коммерчески доступной трехэлектродной проточной системы, позволяющий определять общую антиоксидантную емкость (ОАЕ) в различных образцах путем измерения тока восстановления растворенного кислорода воздуха, что значительно упрощает и удешевляет анализ, так как не требуется добавления в анализируемый раствор дополнительных реагентов, вступающих в реакцию с антиоксидантами. Для улучшения электрохимических характеристик определения ОАЕ планарный графитовый электрод (ПГЭ) был дополнительно модифицирован углеродной вуалью (УВ) и сульфаниламидным производным пиллар[5]арена. УВ представляет собой конструкционные материалы, обладающие нетканой структурой из гладких, длинных, цилиндрических волокон, образующих сеть с макроразмерными промежутками между волокнами, обусловливающими высокую пористость вуали. Благодаря своей уникальной структуре УВ способна увеличить площадь эффективной поверхности рабочего электрода, вследствие чего на электроде, модифицированном УВ, может происходить значительное увеличение регистрируемых редокс-токов.

Разработанная нами амперометрическая проточная сенсорная система на основе УВ и пиллар[5]арена, содержащего аммониево-сульфаниламидные заместители, обеспечила возможность определения ОАЕ с использованием в качестве аналитической реакции электрохимического восстановления на электроде растворенного в воде кислорода с высокой степенью чувствительности и воспроизводимости. Использование УВ для модификации

ПГЭ благодаря ее электропроводным свойствам и высокой удельной поверхности способствовало увеличению эффективной площади поверхности электрода и как следствие улучшению аналитических характеристик сенсора.

Работоспособность полученной проточной системы была продемонстрирована экспериментом по определению антиоксидантов не только в однокомпонентном растворе, содержащем индивидуальный антиоксидант, но и по определению антиоксидантов в присутствии матричных компонентов лекарственных препаратов. Разработанный сенсор для определения ОАЕ позволяет проводить мониторинг антиоксидантной активности продуктов питания и других смесей в условиях in vitro.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-10116, https://rscf.ru/project/25-73-10116/

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ БИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЛИСТЬЕВ *AMARÁNTHUS* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОСОВМЕСТИМЫХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Тетеркин В.А., Давыдова Е.Г, Шишов А.Ю.

СПбГУ, Санкт-Петербург

st128691@student.spbu.ru

Надземная биомасса амаранта, образующаяся как побочный продукт селекционных работ, представляет собой перспективный объект для вовлечения вторичного растительного сырья в ресурсосберегающие технологические циклы, поскольку является ценным источником биоактивных соединений (БАВ) для фармацевтики и производства функциональных пищевых продуктов. Известно, что листья *Amaranthus* содержат (БАВ), что обуславливает гепатопротекторные, антипролиферативные, противовоспалительные и антиоксидантные свойства экстрактов растения [1]. Для эффективного, сберегающего и экологичного извлечения БАВ из листьев *Amaranthus* оптимальным является применение биосовместимых природных глубоких эвтектических растворителей (ПГЭР) [2].

Целью данной работы стала оптимизация условий экстрагирования БАВ из листьев *Amaranthus* с применением ПГЭР, содержащих полиолы и сахарные спирты. Методология поверхности отклика и дизайн Бокса-Бенкена были использованы для оптимизации трёх ключевых параметров процесса.

Оптимальным среди ПГЭР, стал холин хлорид : глицерин, показавший наибольшее значение выхода флавоноидных соединений – 64.7 мг/г (10% воды, 20 ºС, 65 минут) и антиоксидантную активность по DPPH - 79%.

В результате работы был подобран эвтектический растворитель, обеспечивающий максимальный выход БАВ с высоким антиоксидантным потенциалом и превосходящий по экстракционной эффективности традиционные растворители: метанол, воду и водно-этанольную смесь в 1.4 раза.

Список литературы

1. *López-Mejía O. A., López-Malo A., Palou E.* // Industrial Crops and Products. 2014. Vol. 53. P. 55. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.12.017
2. *Nazir F., Nazir A., Javed S., Abid H. A.* // Sustainable Chemistry and Pharmacy. 2023. Vol. 33. P. 101058. DOI: 10.1016/j.scp.2023.101058

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 25-73-10071). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава вещества, Оптические и лазерные методы исследования вещества).

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ СИНТЕЗОВ

Толстов М.А.*, *Занин А.А.

РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

maxjpeg@mail.ru

В настоящее время зелёная химия представляет собой всё более инновационную и междисциплинарную область исследований. Одним из основных вызовов является оценка экологических параметров химических процессов и использование этих данных для планирования новых вариантов синтеза химического вещества [1]. Выбор метода оценки в большей степени зависит от конкретных задач по экологической оптимизации процесса и области применения, что затрудняет разработку универсального алгоритма, подходящего для различных отраслей химической промышленности и научно-образовательной деятельности [2].

В рамках выполнения работы был разработан алгоритм для расчёта показателей для 12 экологических параметров химического процесса, которые соответствуют 12 принципам зелёной химии. Для этого были разработаны формулы, которые учитывают массовые показатели, токсичность и производственную опасность всех веществ, участвующих в химическом процессе, а также данных о энергетических затратах на проведение синтеза и качестве мониторинга его этапов. В качестве основы для формул расчёта большинства показателей использовался показатель массовой интенсивности процесса (*Process Mass Intensity*, *PMI*) с учётом специфических коэффициентов, определяемых классом опасности химической продукции, согласно ГОСТ 32419—2022. Этот факт позволяет проводить оценку ориентируясь на нормативные документы Российской Федерации, что может помочь в стратегии импортозамещения зарубежного программного обеспечения для предприятий-производителей химического сырья. Так, в разработанном алгоритме при расчётах показателей экологической эффективности P_n учитываются химические свойства веществ:

$$P_n = \frac{\sum m(\text{веществ, включая воду}) \times K}{\sum m(\text{ цел. продуктов})},$$

где Σm(веществ, включая воду) – сумма масс исходных веществ, включая воду, вспомогательные вещества и растворители;

Σm(цел. продуктов) – сумма масс продуктов, на получение которых направлен химический синтез;

K – специфический коэффициент, определяемый химическими свойствами каждого из веществ.

Цифровой инструмент был назван «Калькулятор зелёных синтезов», он был разработан на языке *JavaScript* и представлен в виде электронного

лабораторного журнала (Рис. 1). Данная версия программного обеспечения для операционных систем *Windows* позволяет проводить оценку и сравнение экологической эффективности для двух синтезов, направленных на получение одного и того же целевого продукта. По результатам оценки приводится сводная таблица, которая указывает по каким параметрам соответствующий процесс превосходит свой аналог по экологической эффективности.

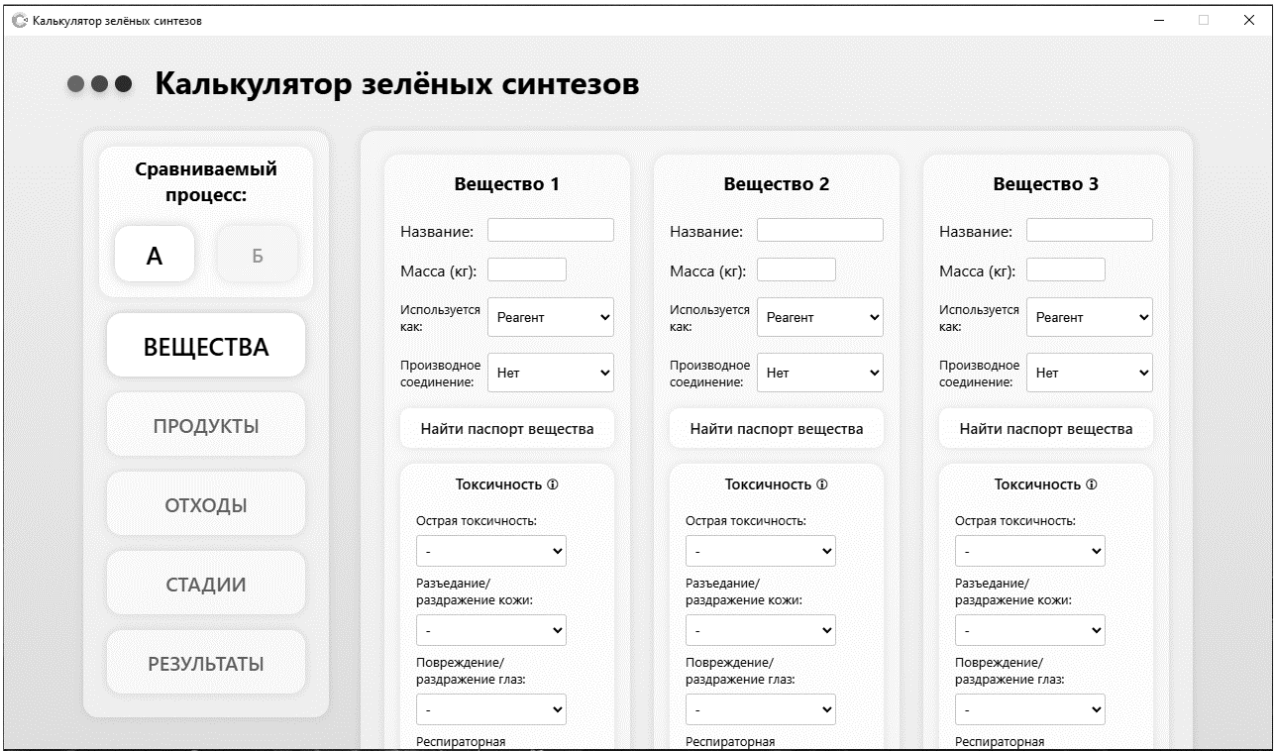


Рисунок 1. Интерфейс программы «Калькулятор зелёных синтезов»

Работу данного цифрового инструмента планируется апробировать не только на лабораторных синтезах, но и на крупнотоннажных технологических процессах.

Список литературы

1. *Constable D.J.* // iScience. 2021. Vol. 24. P.103489. DOI: 10.1016/j.isci.2021.103489.
2. *Yin L, Yu L, Guo Y, Wang C, Ge Y, Zheng X, Zhang N, You J, Zhang Y, Shi M*. // Journal of Pharmaceutical Analysis. 2024. Vol. 14. N. 11. P. 101013. doi: 10.1016/j.jpha.2024.101013.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ Al^{3+} С КСИЛЕНОЛОВЫМ ОРАНЖЕВЫМ В ПОЧВАХ

Федорова Е.Ю.*, *Кутяшева Н.В.

ООО «УРАЛСТРОЙЛАБ», Челябинск

Knatali1706@mail.ru

Определение Al (III) в почвах является важной задачей агрохимического и экологического контроля, поскольку содержание подвижных форм алюминия связано с кислотностью почвенной среды и оказывает влияние на рост растений. Для количественного анализа в лабораториях нередко используется ГОСТ 26485-85 [1], в основе которого лежит фотометрическое определение комплексного соединения Al (III) с ксиленоловым оранжевым. В данном нормативном документе анализ проводят после выдержки не менее 2 часов при комнатной температуре с момента добавления окрашивающего раствора. Длительность данного этапа снижает производительность анализа при серийном исследовании почвенных вытяжек.

Цель работы – оценить возможность сокращения времени выдержки для образования аналитической окраски в системе Al (III)–ксиленоловый оранжевый почвенных вытяжек при нагревании.

Исследования проведены для модельных растворов Al (III) в диапазоне концентраций 0,2–2,4 ммоль/л. При комнатной температуре регистрацию выполняли в интервале 0–120 мин, при термостатировании 40 °С – в интервале 0–40 мин.

График зависимости концентрации Al (III) от времени выдержки при комнатной температуре представлены на рисунке 1.

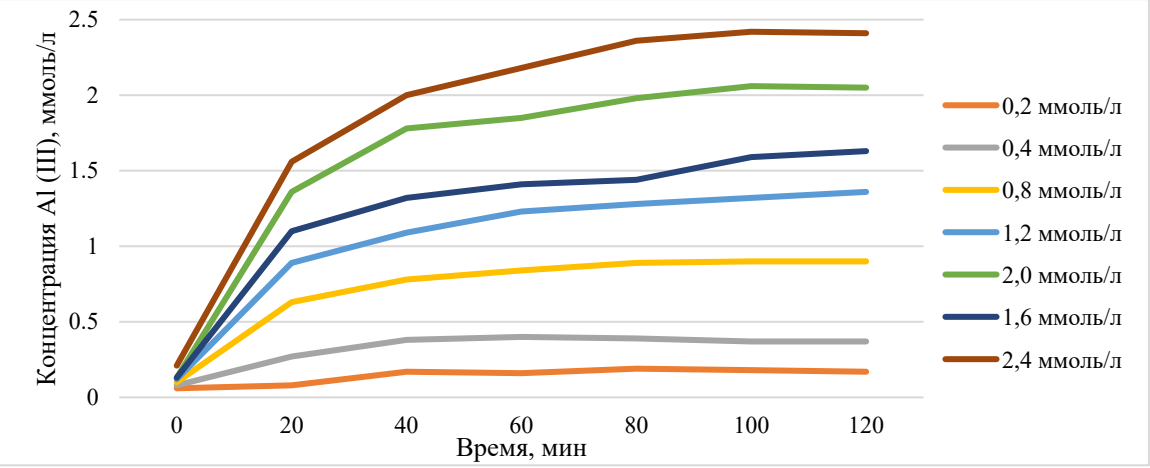


Рисунок 1. График зависимости концентрации Al (III) с ксиленоловым оранжевым от времени выдержки

Установлено, что при комнатной температуре аналитический сигнал возрастает постепенно и достигает стационарного уровня в пределах порядка 80–120 минут, что подтверждает обоснованность выдержки 2 часа, согласно ГОСТ.

При термостатировании на водяной бане при 40 °С формирование окраски существенно ускоряется: достижение стационарного уровня наблюдается в течение 10–15 минут, что соответствует ускорению относительно комнатных условий в несколько раз. Таким образом, температурное воздействие является перспективным фактором интенсификации процесса комплексообразования [2]. График зависимости концентрации Al (III) от времени выдержки при термостатировании представлены на рисунке 2.

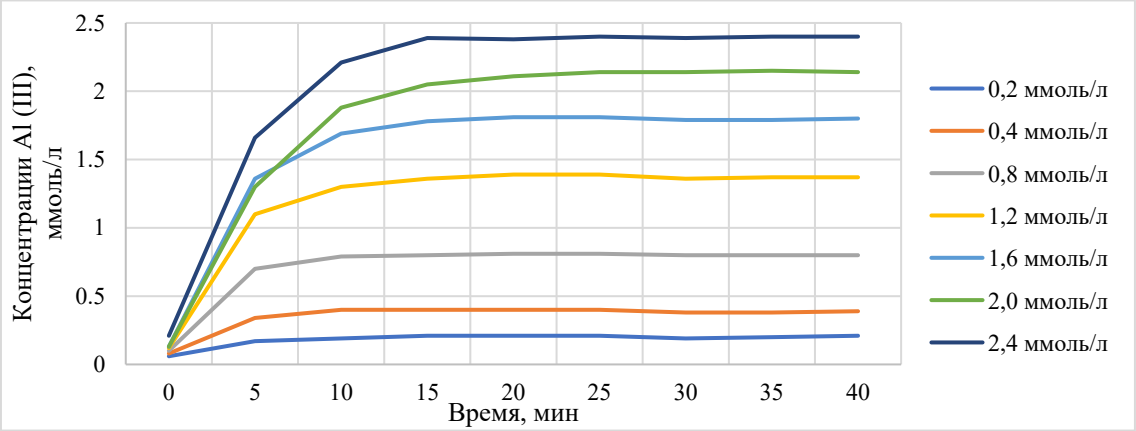


Рисунок 2. График зависимости концентрации Al (III) с ксиленоловым оранжевым от времени выдержки при термостатировании (40 °С).

Апробация ускоренного режима выполнена на реальных почвенных вытяжках (n = 5). В интервале 10–20 минут при 40 °С выявлено завышение найденных концентраций Al (III) по сравнению с результатами, полученными по стандартной методике (таблица 1). Величина относительного смещения составляет порядка 1–14%. После охлаждения расхождения снижается, однако сохраняется отклонение в сторону более высоких значений.

Таблица 1. Результаты апробации модифицированной методики

№ пробы	**Полученные результаты, ммоль/л**		**Величина относительного смещения, %**
	ГОСТ 26485-85	**Модифицированная методика**	
3	2,43	2,45	0,8
11	0,12	0,13	8,3
20	1,48	1,60	8,1
22	0,66	0,75	13,6
28	2,13	2,28	7,0

Таким образом, термостатирование при 40 °С позволяет сократить время установления аналитического сигнала в 4–6 раз, однако применение ускоренного режима на матричных объектах требует дополнительной оптимизации и метрологической оценки.

Список литературы

1. ГОСТ 26485-85.
2. *A.C. Edwards, M.S. Cresser.* 1983. Vol. 30. N. 9. P. 702-7045. DOI: 10.1016/0039-9140(83)80161-1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФИДОВ, КАРБОНАТОВ И ГАЛОГЕНИДОВ В ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДАХ

Хохоев Т.Э, Дзуцев А.А., Бигаева И.М.

СОГУ имени Коста Левановича Хетагурова, Владикавказ

bigaeva@mail.ru

В ходе исследования ионного состава минеральных вод Бугультодонского ущелья РСО-Алания [1] была обнаружена невозможность применения методик, указанных в ГОСТах [2-4] для определения содержания сульфидов, карбонатов и галогенидов, к некоторым образцам минеральных вод. Это наблюдалось даже на стадии пробоотбора. Исследуемые образцы имели высокое содержание сульфида железа и сероводорода. При консервации азотной кислотой, согласно ГОСТу 31866-2012 [2], происходило частичное восстановление серы, что приводило к соосаждению других соединений и влияло на последующие результаты определения ионного состава проб.

Определение хлорид ионов согласно ГОСТу 23268.17-78 [3] предполагает аргентометрическое титрование без предварительной пробоподготовки, хотя при этом одновременно с галогенидами осаждаются и сульфид-ионы.

Определение карбонатной жесткости в данных образцах ацидиметрическим методом, представленном в ГОСТе 31957-2012 [3], не допустимо, если содержание сульфидов в минеральной воде высоко, поскольку сульфид железа, присутствующий в образцах, мешает обнаружению карбонатов.

Нами разработан метод пробоподготовки и анализа образцов минеральной воды с высоким содержанием сульфидов. Предложенные методики опробованы на модельных и реальных образцах минеральной воды.

Список литературы

1. *Агаева Ф.А., Бдтаева К.К., Бигаева И.М. и др.* Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025620414 Российская Федерация. Минеральные источники Бугультадонского ущелья: опубл. 23.01.2025.
2. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб. https://meganorm.ru/Data/743/74335.pdf
3. ГОСТ Р 23268.17-78. Вода. Методы определения хлорид-ионов. https://meganorm.ru/Data2/1/4294830/4294830766.pdf
4. ГОСТ Р 31957-2012. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов.https://meganorm.ru/Data2/1/4293785/4293785986.pdf

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЛЛАСТОНИТА

Шишаева С.М.*, *Николаева А.Д.*, *Логинов С.В.

СПбГТИ(ТУ), Санкт-Петербург

shishaeva.sofya@gmail.com

Волластонит – минерал, представляющий собой метасиликат кальция $CaSiO_3$. Волластонит находит применение в таких отраслях промышленности, как производство композитных материалов, красок, керамики, а также в цветной металлургии, медицине и пищевой промышленности. Добавка волластонита в различные материалы позволяет улучшить их прочностные характеристики, минимизировать деформации, обеспечить волокнистую структуру, повышать термо- и морозостойкость [1]. Это объясняется игольчатой структурой кристаллов волластонита.

Наряду с природным волластонитом применяется также синтетический, получаемый при спекании оксидов кальция и кремния при высоких температуре и давлении. В качестве альтернативы данному методу разрабатывается технология, позволяющая синтезировать волластонит при стандартных условиях путём взаимодействия раствора хлорида кальция с жидким стеклом. При этом в качестве источника хлорида кальция используется дистиллерная жидкость – основной отход промышленного производства соды [2].

В рамках исследования была проведена серия опытов при стандартных лабораторных условиях с использованием модельного раствора хлорида кальция концентрацией 20% и натриевого жидкого стекла с различными значениями силикатного модуля, при контролируемых температурах и временных интервалах перемешивания 10-20 минут и выдержки растворов от 1 минуты до нескольких суток. Полученные образцы высушивали при 100 ℃ и изучали с помощью инфракрасной спектроскопии, рентгенофазового анализа, рентгенофлуоресцентного анализа, оптической микроскопии в отражённом свете и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. С помощью указанных методов анализа была подтверждена фазовая и кристаллическая структура полученного в ходе экспериментов при стандартных лабораторных условиях волластонита, установлены его химический состав и характерная игольчатая морфология.

Список литературы

1. *Волкова О. Е* // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки - развитию регионов Сибири. 2009. Т. 2. С. 219-222.
2. *Тульянова Ш. Н.* // Наука и техника Казахстана. 2020. № 2. С. 75.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРАКЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Яковлюк Р.О., ***Зима С.А., Михрячев О.И., Новиков М.А., Чекалина С.В.***

ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», Москва

yakovljukro@mgupp.ru

Экстракционные модели становятся популярны в различных химических направлениях. Особенно это касается экологического мониторинга водных и почвенных объектов.

Разработанная нами ранее экстракционная модель на основе HCl, HNO_3 и HF в массовом соотношении 1:3:1 сравнивалась с использованием смеси HNO_3 и $HClO_4$ в соотношении 3:1, а также со смесью на основе HNO_3, H_2SO_4 и $HClO_4$ в соотношении 4:2:1 [1].

В качестве объекта исследования была взята река Уна, протекающая на территории Тульской области. Отбор проб производился с использованием пробоотборника из нержавеющей стали. Пробы отбирались на расстоянии 0.6 метра от берега и помещались в пластиковые емкости с закручивающейся крышкой. Пробы были отобраны в одном слое из-за низкой толщины донных отложений. В образцах осадка были определены кислоторастворимые формы Fe, Zn, Cu. Образцы осадка были тщательно перемешаны, очищены от посторонних примесей и высушены на воздухе до воздушно-сухого состояния или в сушильном шкафу при температуре 40-50℃. Пробу растирали в фарфоровой ступке и просеивали через сито (0.25 мм). Из пробы донных отложений отбирали средние пробы. Для анализа на микроэлементы по 50 г донных отложений помещали в пластиковые пакеты. Перед анализом средние образцы были дополнительно измельчены до размера 0.1 мм.

Далее брали подготовленные пробы с наличием Fe, Zn и Cu, прокаливали в течение 3 часов, смачивали дистиллированной водой и добавляли смесь кислот.[2]. Все исследования проводились на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «АКВИЛОН 2». Измерение железа в анализируемых пробах проводилось при λ=285.5 нм, меди - при λ=324.7 нм и цинка - при λ=322.1 нм. Для калибровки прибора мы брали эталонны раствор ГСОРМ-17 для меди с концентрацией 0.5 мг/мл и ГСОРМ-19 для цинка и железа с концентрацией 2.5 и 5 мг/мл соответственно.

Для сравнения смесей кислот и их уровень чувствительности использовали метод экстракционно-атомно-абсорбционной спектрометрии. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты экстракционно-атомно-абсорбционного определения тяжелых металлов в донных отложениях реки Уна (n=5, P=0.95).

Смесь кислот	Содержание тяжелых металлов в донных отложениях, мкг/л		
	Fe	Cu	Zn
HCl-HNO_3-HF	0.182	0.143	0.841
HNO_3-$HClO_4$	0.124	0.063	0.795
HNO_3-H_2SO_4-$HClO_4$	0.176	0.112	0.802

По результатам проведенного нами мониторинга можно сделать следующие выводы: лучше всего определялись количества металлов смесью кислот HCl-HNO_3-HF за счет испарения летучего соединения SiF_4. В отличие от остальных вариантов кислот. Смесь кислот HNO_3-$HClO_4$ растворяла образцы, из-за чего улавливаемость ионов тяжелых металлов была затруднена, вследствие этого результаты сильно отклонены от других смесей кислот. Смесь из HNO_3-H_2SO_4-$HClO_4$ показала себя приближенно, к плавиковой смеси, но образованные сульфаты могли являться мешающим фактором при определении более точного количества ионов тяжелых металлов в донных отложениях реки Уна Тульской области.

Список литературы

1. *Роева, Н. Н., Яковлюк Р.О.* Изучение макроэлементного состава природных вод Тульской области // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2025. № 1(181). – С. 13-15.
2. *Яковлюк Р.О., Зима С.А.* // Материалы VIII Всероссийской молодежной конференции с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Ю. С. Залькинда и 85-летию со дня рождения профессора В. М. Берестовицкой. Санкт-Петербург: Издательство РГПУ им. А. И. Герцена. 24-28 марта 2025. С. 265.

ИЗУЧЕНИЕ МЕШАЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ПРИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФЛАВОНОИДОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТАХ

***Яцышина В.С.*, Шишов А.Ю., Низов Е.Р.**

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Институт химии

st107503@student.spbu.ru

Флавоноиды – группа полифенольных соединений, обладающих рядом полезных свойств, включая противовирусные, противовоспалительные, кардиопротекторные, противодиабетические, противораковые [1]. Одним из часто используемых методов определения общего содержания флавоноидов в растительных экстрактах является фотометрический анализ с хлоридом алюминия, который выступает в роли комплексообразующего агента [2]. В современной аналитической химии для извлечения флавоноидов из растительного сырья все чаще применяют глубокие эвтектические растворители (ГЭР), однако некоторые компоненты ГЭР могут связываться с $AlCl_3$ или с флавоноидами, вмешиваясь в ход фотометрической реакции, и искажать аналитический сигнал. Целью данной работы было исследовать влияние ГЭР на основе хлорида холина в качестве акцептора водородных связей и различных классов соединений (спиртов, сахаров, мочевины и кислот) в качестве доноров на протекание фотометрической реакции с $AlCl_3$ и, в случае наличия мешающего эффекта, предложить варианты его устранения, а также провести фотометрический анализ реальных образцов с использованием ГЭР.

В данном исследовании на примере рутина проводили фотометрическую реакцию в оптимальных условиях с различными добавками ГЭР и вычисляли мешающий эффект. Было показано, что во всем исследованном диапазоне концентраций (10-100 г/л) мешающее влияние ГЭР оказывается значительным. Были исследованы способы устранения мешающего влияния: выбор растворителя и изменение pH среды. В результате был предложен альтернативный подход к фотометрическому анализу, основанный на изменении pH раствора экстракта без добавления $AlCl_3$. С помощью предложенного и традиционного методов было определено общее содержание флавоноидов в 10 образцах лекарственных растений.

Список литературы

1. *Shen N., Wang T., Gan Q., Liu S., Wang L., Jin B.* // Food Chemistry. 2022. Vol. 383. P. 1. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132531

2. *Shraim A., Ahmed T., Rahman M., Hijji Y.* // LWT. 2021. Vol. 150. P. 1. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111932

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 25-73-10071). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава веществ).

СЕКЦИЯ 5

ХИМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ, МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ХИМИИ

ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ХИМИИ: СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ

Багавиева Т.К.[1,2], Качалова Г.С.[1], Якубовская Т.К.[2], Шаталов Е.В.[2]

ФГБОУ ВО «НГПУ» [1], МБОУ СОШ № 189 [2], Новосибирск

bagavieva.tanya@mail.ru

При организации образовательного процесса по химии ФГОС предъявляет требования по использованию современных учебных технологий, включая цифровые сервисы, где задания ориентированы на образовательные программы.

При закреплении материала по химии учитель выбирает задания в соответствии с пройденным материалом по программе, учитывая уровень сложности. Благодаря автоматическому контролю и аналитике результатов сокращается время и облегчается подготовка дидактических материалов при подготовке к уроку. Для учеников, регулярно использующих в наше время мобильные устройства, есть возможность сократить время использования развлекательного контента на образовательный. Гиперссылка в электронном дневнике, доступная в любое удобное время, позволит быстро перейти ученику к заданию и получить результат в виде оценки сразу после выполнения, что снижает стресс от традиционных проверок Школьники имеют возможность продуктивно осваивать учебный материал, закрепляя умения и навыки Такой систематический интерактивный способ обучения учит работать сосредоточенно и внимательно, а объективная оценка результатов позволяет ребенку увидеть, что отметки зависят не от учителя, а от реальных знаний и умений самого обучающегося [2].

Для того чтобы онлайн-инструменты были помощниками учителю, в первую очередь нужно определиться, для чего они необходимы и чего нужно добиться от учащихся. Сначала определить учебные цели: что должны знать, анализировать, уметь и в каких жизненных ситуациях должны применять свои знания обучающиеся, чтобы довести их до высшего уровня в зависимости от учебной задачи. Затем, в соответствии с этим, придумать задания или действия для цифровых сервисов. Далее подобрать нужный цифровой инструмент, который будет выступать в качестве помощника для достижения учебной цели.

Проведем сравнение двух интерактивных платформ – образовательный портал «Учи.ру» (https://uchi.ru/) и Skysmart (https://edu.skysmart.ru/) [1].

При получении задания в Skysmart ученики регистрируются самостоятельно и после выполненного задания учитель видит списочный состав и результаты, в то время как на Учи.ру необходимо заранее добавить учеников и предварительно выдать логины и пароли для входа, автоматически сгенерированные системой. Задания в Skysmart отображено в одном варианте и у всех учеников одинаковые, в то время как на Учи.ру есть генерация

некоторых заданий от двух до четырех вариантов. Если сравнивать сложность и количество заданий по темам, то Skysmart уступает платформе Учи. ру, в которой их меньше, и они легче по уровню.

Система оценивания на платформах различается на 5%. Критерии на Учи.ру более строгие – оценка «пять» ставится системой при выполнении не менее 90% заданий, а в Skysmart достаточно выполнить 85% заданий. Если результат на Учи.ру составляет 70%, то ученик получает «три» («четыре» от 71%), в то время как в Skysmart ставит «четыре» от 65%.

Не смотря на сложность заданий и более строгое оценивание Учи.ру позволяет сгенерировать упражнение, указав в настройках несколько попыток по выполнению каждого тестового задания, что позволяет учащимся многократно практиковаться, снижая страх ошибок.

Сравнивая две цифровые платформы по уровню технических аспектов и заданий для адаптирования к их выполнению, целесообразно для начала использовать Skysmart. После того как учащиеся освоят интерфейс, технические возможности и успешно будут выполнять задания, можно переходить к более сложному уровню и более строгой системе оценивания портала Учи.ру.

В наше время цифровые технологии перестают быть просто средством обучения, они становятся средой и пространством обучения и воспитания. Они помогают обучающимся не бояться рисковать и мириться с ошибками; развивают любознательность; используются как игровая деятельность; развивают рефлексию.

Список литературы

1. *Багавиева Т. К., Качалова Г.* С. // Сборник статей участников X Международной научно-практической конференции Web-технологии в образовании: традиции, инновации, опыт. Арзамас. 2024. С. 223.
2. *Качалова Г.С., Багавиева Т.К.* // ХвШ. 2025. № 1. С. 60. DOI: 10.62709/0368-5632-2025-1-60-65

Подготовлено в рамках реализации Государственного задания Министерства просвещения РФ № 073-03-2026-052 от 23 января 2026 г. на выполнение НИР в 2026 г. «Научно-методическое сопровождение предметно-методической подготовки учителя химии при реализации Ядра высшего педагогического образования в условиях цифровой трансформации образования»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕРЕСА УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ ХИМИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ

Возняк Е.М., ***Крылатова Я.Г.***

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

evgeniya.voznyak@mail.ru

Современное образование сталкивается с необходимостью поиска новых способов мотивации учащихся. В условиях цифровизации традиционные статичные методы обучения требуют дополнения интерактивными форматами. Целью нашей работы стала апробация цифровых инструментов, которые не только повышают интерес к предмету, но и способствуют патриотическому воспитанию через изучение вклада отечественных ученых в мировую науку.

Одним из таких инструментов являются QR-коды и инфографика, которые открывают новые горизонты для реализации школьных проектов по химии [1].

В рамках проекта «Саратовские ученые-химики» инфографика используется для визуализации сложных концепций и структурирования биографических данных (Рис. 1). Это упрощает восприятие больших объемов информации, делая её наглядной и привлекательной для школьников. Дополнение материалов QR-кодами обеспечивает мгновенный доступ к внешним ресурсам (статьям, видеолекциям), что значительно повышает познавательный интерес учащихся.

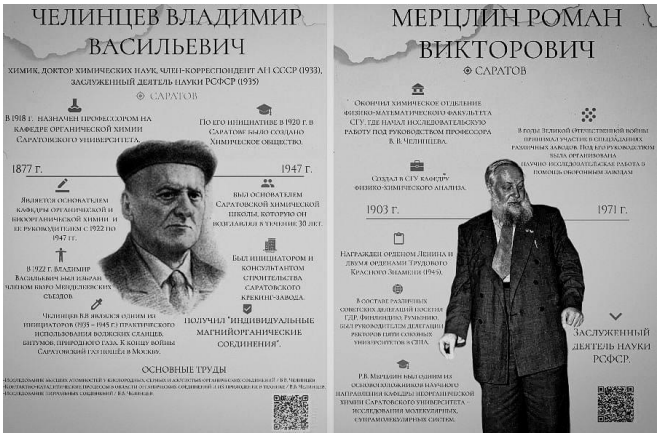


Рисунок 1. Инфографики, посвящённые Саратовским учёным-химикам

Искусственный интеллект является ещё одним эффективным инструментом для интеграции истории науки в современное образовательное пространство [2]. Технологии нейросетей позволяют «оживлять» портреты выдающихся ученых-химиков, превращая стандартное изучение биографий в интерактивный диалог и делая исторические образы более наглядными (Рис. 2). Использование анимированных моделей и визуализаций достижений прошлого вдохновляет учащихся на изучение предмета.

Практический опыт проведения уроков в 8 и 11 классах показал, что внедрение ИИ создает уникальную атмосферу сопричастности, способствуя концентрации внимания и глубокому погружению в материал. Такой формат помогает школьникам осознать масштаб вклада ученых в развитие науки и стимулирует их к разработке собственных исследовательских проектов. Внедрение ИИ-технологий в учебный процесс обеспечило высокий уровень вовлеченности учащихся и качественное освоение программы.

Рисунок 2. Дмитрий Иванович Менделеев

Ещё одним инструментом повышения интереса учащихся является создание «профилей» ученых в социальных сетях. Этот приём переносит изучение биографий в привычную для подростков цифровую среду, используя элементы геймификации. Обучающиеся создают страницу ученого в формате социальной сети, заполняя разделы: «место работы», «интересы», «статус», «список друзей» и «стена» с постами об открытиях.

Для создания достоверного профиля учащиеся должны глубоко изучить биографию, окружение и научный контекст эпохи. Это развивает навыки анализа и синтеза информации. Данный формат способствует формированию у учащихся чувства гордости за отечественную науку.

Список литературы

1. *Возняк Е.М., Крылатова Я.Г.* // Мат-лы XVI Всеросс. науч.-практ. конф. «Информационные технологии в образовании» (ИТО-Саратов-2024), 1–2 ноября 2024. Вып. 7. С. 59.
2. *Возняк Е.М., Крылатова Я.Г.* // Мат-лы XVII Всеросс. науч.-практ. конф. «Информационные технологии в образовании» (ИТО-Саратов-2025), 7–8 ноября 2025. Вып. 8. С. 79.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

Бойцова Т.Б., Голик И.А., Горбунова В.В.

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

inaragolik@yandex.ru

Рассмотрение особенностей протекания химических реакций в твердой фазе является актуальной задачей при изучении общей и неорганической химии, так как такие реакции являются основой получения не только простых веществ, но и синтеза большого количества новых современных функциональных материалов. При этом изучению твердофазных реакций по сравнению с реакциями в газовой фазе или жидкой среде уделяется сравнительно скромное место не только в рамках среднеобразовательной школы, но и при получении квалификации бакалавра химического образования в вузе.

Целью данной работы является изучение теоретических основ реакций в твердом виде и отработка лабораторной методики их проведения.

Таблица. Фундаментальные различия между гомофазными и твердофазными реакциями

Гомофазные	Твердофазные
Реагенты и продукты находятся в одной фазе	Реагенты и продукты образуют самостоятельные упорядоченные фазы
Диффузия реагентов не является ограничивающим фактором взаимодействия	Движение компонентов ограничено процессами диффузии
Характерно образование сравнительно небольшого набора промежуточных продуктов	Характерно существование большего набора промежуточных состояний, энергетически мало отличающихся одно от другого.
Число частиц, участвующих в элементарном химическом акте (молекулярность реакции) строго ограничено	Большое число частиц, образующих фазы реагентов и продуктов
Реагенты и продукты реакции являются независимыми друг от друга	Поведение атомов, молекул или ионов каждого реагента или продукта определяется энергетикой связи с другими частицами в пределах твердых фаз - реагентов.
Скорость реакции определяется энергией активации	Скорость реакции определяется количеством дефектов в структуре реагентов
Скорость реакции сильно зависит от внешних факторов (температура, давление)	Реакционная способность системы зависит как от внешних, так и внутренних факторов
	Требуют специальных видов активации
	Возможно направленное регулирование в пространстве

В работе рассматривается классификация реакций в твердом виде и отработка методики проведения их в лабораторных условиях для проведения факультативного занятия в школе с углубленным изучением химии.

Работа выполнена за счет внутреннего гранта РГПУ им. А. И. Герцена (проект №68-ВГ)

ПАТРИОТИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ НА УРОКАХ ХИМИИ В СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЕ

Джуманиязова С.Н.*, *Орлова И. А.

РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург

sdzhumaniyazova@mail.ru

В соответствии с изменениями, внесенными в Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» (от 31 июля 2020 г., № 304-ФЗ), воспитательная функция вернулась в школу как системный элемент.

Предмет «Химия» обладает большим воспитательным потенциалом (Гавронская Ю. Ю., Кузнецова Н. Е., Кукушкин Ю.Н., Орлова И. А., Пак М. С, Роговая О. Г., Титова И. М., Толетова М. К., Фадеев Г. Н. и многие другие).

Патриотическое воспитание подрастающего поколения – фундамент воспитательной деятельности современной школы как социального института и направлено, в том числе, на укрепление традиционных российских духовно-нравственных ценностей, ценностного отношения к достижениям России в науке, искусстве, технологиях, труде. Особую актуальность решение задач патриотического воспитания на уроках химии приобретает также в связи с тем, что изучение химии приходится на подростковый и юношеский возраст обучающихся. Именно в это время происходит формирование мировоззрения, системы жизненных ценностей, гражданской позиции человека.

Однако учебно-методическое сопровождение патриотического воспитания в школьном химическом образовании нуждается в обновлении и расширении, поскольку часто преобладает событийный подход к их разработке и реализации, не всегда учитываются вызовы времени, потребности личности, общества и др. Нами разрабатывается вариативная часть предметного содержания, а также на ее основе – познавательные задания [1].

Как показывает практика, использование эмоционально окрашенных дидактических материалов патриотической направленности в рамках традиционного урочного формата способствует активизации у учащихся познавательного интереса, развитию ценностного отношения к науке химии, чувства национальной гордости, любви к Родине.

Список литературы

1. *Орлова И. А., Джуманиязова С. Н.* // Современное образование в области безопасности жизнедеятельности: теория, методика, практика : сборник материалов XXIX Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 12 ноября 2025 года, Казань, 2025. С. 134-136.

КОНКУРС ПРОЕКТОВ КАК ИННОВАЦИОННАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ (НА ПРИМЕРЕ КОНКУРСА «PRO-КРЕАТИВ» ФЕНиТ СОГУ ИМЕНИ КОСТА ЛЕВАНОВИЧА ХЕТАГУРОВА)

Симеониди Д.Д., Бигаева И.М., Дзитиев Г.В.

СОГУ имени Коста Левановича Хетагурова, Владикавказ

bigaeva@mail.ru

Традиционная академическая модель образования в области естественных наук часто сталкивается с разрывом между теоретическими знаниями и требованиями реального сектора экономики. Поэтому проектно-ориентированное обучение становится инструментом адаптации студентов к быстроменяющемуся рынку технологий.

Дисциплина «Проектное обучение» включена в учебные планы практически всех направлений подготовки в вузе, не только естественнонаучного, но и гуманитарного циклов.

Для того, чтобы перевести обучение в практико-ориентированное, прикладное, мы на факультете естественных наук и технологий (ФЕНиТ) три года назад решили проводить конкурс проектных работ «PRO-Креатив» как завершающий этап цикла практической подготовки по дисциплине «Проектное обучение». Первоначально конкурс проводился только для студентов направления подготовки 04.03.01 Химия и 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), но затем в него были вовлечены и студенты других направлений подготовки факультета. Цель конкурса – трансформация научного любопытства студента в прикладной проект, имеющий потенциал коммерциализации или социальной значимости как для региона (РСО-Алания), так и для страны в целом.

Так как решение экологических, технологических и социальных проектных задач требует комплексного подхода, одной из ключевых особенностей «PRO-Креатив» является стимулирование кросс-функциональных связей между химиками, биологами, биотехнологами, физиками и географами. Такое решение позволяет студентам осваивать смежные компетенции и учиться работать в профессиональных командах. Проекты конкурса ориентированы на специфику Республики Северная Осетия – Алания: от переработки промышленных отходов местных предприятий до сохранения биоразнообразия высокогорных экосистем. Участие в жюри представителей профильных министерств и бизнеса обеспечивает прямую связь «вуз – работодатель» и повышает мотивацию обучающихся.

Самостоятельное планирование эксперимента, работа с лабораторным оборудованием, статистическая обработка данных, оформление патентных заявок формируют профессиональные и гибкие навыки (Hard и Soft Skills), такие, как навыки публичной защиты (питчинг), проектное мышление,

стрессоустойчивость и умение работать в условиях ограниченных ресурсов. Лучшие проекты и их участники, отмеченные членами жюри, продолжают работу, участвуя в других конкурсах.

Анализ опыта проведения «PRO-Креатив» за последние три года показывает рост публикационной активности студентов, увеличение количества заявок на грантовые конкурсы (например, «Студенческий стартап», «УМНИК») и повышение уровня трудоустройства выпускников по специальности.

В перспективе планируется расширение конкурса до межуниверситетского уровня с привлечением ИТ-специалистов для цифровизации естественнонаучных разработок.

Список литературы

1. *Алехина Е.А., Макарова Н.А.* // Вестник педагогических наук. 2021. № 8. С. 185.
2. *Рыбакова Г.В., Шилова Т.В., Рукавишникова В.Н.* // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2019. Т. 8. № 2. С. 205 – 208.
3. *Харина Г.В., Алешина Л.В., Мирошникова Е.Г.* // Научный диалог. 2017. № 8. С. 413.
4. *Шералиева Р.Э., Пиманова Н.А.* // Фундаментальные, прикладные вопросы биологии и естественно-научного образования: Материалы I научно-практической конференции с международным участием, Рязань, 24–25 апреля 2024 года. Рязань: Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина. С. 173.

ИНТЕГРАЦИЯ ВОПРОСОВ ФАРМАКОЛОГИИ ВО ВНЕУРОЧНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ХИМИИ

Костина Э.С.

АГУ им. В.Н.Татищева, Астрахань

elinakostina@mail.ru

Современное образование в области химии должно не только передавать фундаментальные знания, но и демонстрировать их практическое применение в повседневной жизни, включая здравоохранение. Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС) основного общего образования подчёркивает формирование функциональной грамотности, включая понимание роли науки в решении глобальных вызовов, таких как пандемии и дефицит микроэлементов.

Данные уроки помогут ученикам, которые собираются связать свою жизнь с наукой и не только им, но и всем школьникам лучше разбираться в лекарственных препаратах, знать, на что оказывает влияние, то или иное вещество в составе медикамента. Как мне кажется, данные знания лучше всего преподносить ученикам на внеурочных занятиях или учитель по-своему усмотрению может организовать химический кружок в школе, например, после занятий или в субботу, когда будет удобно учителю и обучающимся. Программа химии 8 класса по ФГОС перегружена: 35–40 академических часов в год (1 час/неделя, 35 недель), из них 15–18 на неорганическую химию (оксиды, кислоты, соли, металлы). Учебники (Габриелян, Кузнецова) фокусируются на лабораторных опытах и расчётах, оставляя <5% на приложения. За 40 минут урока учитель едва успевает объяснить основы: уравнения реакций, номенклатуру, свойства NaOH или $CuSO_4$.

Фармакология требует 1–1.5 час для демонстраций (растворение солей, моделирование абсорбции), что невозможно без ущерба для базового материала. Лучше всего данные внеучебные занятия начать проводить в 8 классе. Так как в 8 классе закладываются основы химии, и учащиеся больше новой и сложной информации запоминают. Также это связанно с некоторыми особенностями организма обучающиеся этого возраста переживают период интенсивного роста, когда дефицит микроэлементов (Fe, Zn, I) становится важной проблемой: по данным Роспотребнадзора, 25–30% подростков в РФ имеют скрытые формы анемии или йододефицита. Знания о роли Fe^{2+} в гемоглобине или I^- в тиреоидных гормонах мотивируют к здоровому питанию и осознанному приёму витаминов. Кроме того, тема связывает химию с биологией (раздел Человек и здоровье), повышая межпредметные связи. В контексте Астраханской области (южный регион РФ) актуальность усиливается: высокий уровень солёности почв приводит к дефициту йода и цинка в рационе, что подтверждают локальные эпидемиологические данные. Введение темы в образовательный процесс способствует не только

профилактике дефицитных состояний, но и формированию научного мировоззрения. Для эффективной реализации предлагается разработка модульной программы внеурочных занятий «Химия лекарств и микроэлементов» на базе 8 класса, рассчитанной на 2 занятия в 8 классе.

Занятие 1: микроэлементы в организме (1 ч).

Лекция с демонстрацией: роль Fe^{2+} в синтезе гемоглобина дефицит и анемия; свойства йода и тиреоидные гормоны.

Занятие 2: Фармакологическое действие веществ (1.5 ч).

Моделирование абсорбции: растворение солей в искусственной слюне; влияние pH на стабильность витамина С.

ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ АТОМА ШРЁДИНГЕРА В ПРЕПОДАВАНИИ ОБЩЕЙ ХИМИИ

Кушакова А.И.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург

anastasia.kushakova@mail.ru

В 2026 году исполняется 100 лет со дня публикации серии статей Эрвина Шрёдингера «Квантование как проблема собственных значений» в журнале Annalen der Physik [1], ознаменовавших рождение волновой механики. Эта теория радикально изменила картину атома в химии, заменив классические орбиты Бора трёхмерными вероятностными облаками, описываемыми волновой функцией ψ, где $|\psi|^2$ выражает плотность вероятности нахождения электрона.

Предлагаемая методика преподавания для студентов 1–2 курсов химических специальностей (04.03.01 Химия, 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия, 18.03.01 Химическая технология) СПбГТИ (ТУ) строится на сочетании исторического повествования, визуализации и интерактивных элементов, что особенно важно в условиях перехода от классической к квантовой парадигме. Лекция открывается биографией Шрёдингера (1887–1961): рождение в Вене в состоятельной семье, учёба в Венском университете под руководством Франца Экснера и Фридриха Хазенёрля, защита докторской диссертации в 1910 году, карьера ассистента в Вене, профессора в Цюрихе (с 1921 года, где создано уравнение), Берлине (1927 год, преемник Планка), Оксфорде и Дублинском институте перспективных исследований (1940–1956 годы). Особое внимание уделяется универсальности учёного (статистическая механика, теория цвета, общая теория относительности) и обстоятельствам создания волнового уравнения в 1925–1926 годах во время отдыха в Арозе под влиянием идей Луи де Бройля и Уильяма Гамильтона [1].

Далее подробно разбирается эволюция представлений об атоме – от философского атомизма Демокрита (IV век до н.э.) через модель Дальтона (1808 год, твёрдые шарики, объяснение законов стехиометрии), «сливовый пудинг» Дж. Дж. Томсона (1904 год, открытие электрона), ядерную модель Резерфорда (1911 год, эксперимент с α-частицами) к квантовой модели Бора–Зоммерфельда (1913–1916 годы, точное воспроизведение спектра водорода $E_n = -13.6/n^2$ эВ). Студенты анализируют, почему каждая предыдущая модель в итоге оказывалась недостаточной (нестабильность электрона по Максвеллу, необъяснимый эффект Зеемана, отсутствие механизма химической связи), что позволяет осознать необходимость новой теории и кризис старой квантовой картины к середине 1920-х годов [2].

Центральная часть посвящена уравнению Шрёдингера в стационарной:

$$\hat{H}\psi = E\psi$$

и время-зависимой формах:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{\mathrm{H}}\psi.$$

Для атома водорода решения автоматически дают энергии Бора без введения постулатов. Особое внимание уделяется квантовым числам, возникающим при разделении переменных в сферических координатах: главное число n (энергия и размер орбитали), орбитальное l (форма облака: сферическая s, гантелеобразная p, четырёхлепестковая d и др.), магнитное m_l (пространственная ориентация, объяснение эффекта Зеемана и реальных орбиталей p_x, p_y, p_z), спиновое m_s ($\pm 1/2$, открытие в опыте Штерна–Герлаха). Принцип Паули и правило Хунда объясняют последовательность заполнения орбиталей и аномалии конфигураций (Cr [Ar] $4s^1 3d^5$, Cu [Ar] $4s^1 3d^{10}$) [2].

Практическая часть включает демонстрацию и построение форм орбиталей, обсуждение гибридизации (sp^3 – тетраэдрическая геометрия CH_4, sp^2 – плоская C_2H_4), теории Гиллеспи (отталкивание электронных пар валентной оболочки), расщепления d-орбиталей в октаэдрических комплексах (Δ_0, влияние на цвет и магнитные свойства). Дополнительно рассматриваются туннельный эффект (α-распад, работа туннельных диодов и флеш-памяти), применение нелинейного уравнения Шрёдингера к волнам-убийцам и знаменитый мысленный эксперимент с «котом Шрёдингера», иллюстрирующий философские трудности вероятностной интерпретации Борна и проблему коллапса волновой функции. Указываются ограничения теории (нерелятивистский характер, необходимость ручного введения спина и принципа Паули), что способствует формированию критического научного мышления.

Исторический подход позволяет студентам осознать эволюцию идей от классической физики к квантовой, а визуализация делает абстрактные понятия наглядными и запоминающимися. Это способствует глубокому пониманию фундаментальных принципов квантовой химии.

Методика значительно повышает мотивацию и глубину понимания квантовой картины атома, плавно подводя студентов к современным методам вычислительной химии (DFT, ab initio). К 100-летию фундаментальных работ волновая механика Шрёдингера остаётся основным рабочим инструментом преподавания квантовой химии в вузах [1, 3].

Список литературы

1. *Schrödinger E.* // Ann. Physik. 1926. Bd. 384. Hf. 4. S. 361. DOI: 10.1002/andp.19263840404
2. *Partanen E.* // Chem. Educ. Res. Pract. 2018. Vol. 19. N3. P. 885. DOI: 10.1039/C8RP00074C
3. *Tanner J.J.* // J. Chem. Educ. 1990. Vol. 67. N 11. P. 917. DOI: 10.1021/ed067p917

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ БЕЛКОВ НА ПОНИМАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФЕРМЕНТАТИВНОГО КАТАЛИЗА

Матвиенко Э.Р., Албагачиева Р.Б., Гасратова А. Ж., Мурзаканова Д.Ю.

НМИ, Невинномысск

nayka_mni@mail.ru

Очевидно, что сегодняшние методики преподавания гораздо совершеннее тех, что были полвека назад, но при этом большинство людей признаются в том, что они ничего не понимают в науке. Поэтому можно предположить – все же существуют проблемы на уровне преподавания. И если вернуться к идеям Мари Кюри, то стоит задуматься над ее мыслью о том, что, в конце концов, «науку изучают не по книгам, ее познают на практике» [1]. Методика преподавания сегодня — это не просто набор рекомендаций, а интегративная научная дисциплина, соединяющая знания о дисциплине, психолого-педагогические и дидактические знания [2]. Биохимия — идеальная дисциплина для внедрения современных цифровых и интерактивных методов, опирающихся на связи структуры биомолекул с их функцией через визуализацию и цифровое моделирование.

Поставленной целью являлось оценить, как применение интерактивного программного обеспечения для визуализации биомакромолекул (Symix-Draw, HyperChem) влияет на:

· Глубину понимания взаимосвязи «структура-функция-механизм».
· Способность студентов прогнозировать активность фермента на основе его структуры.
· Формирование навыков работы с биоинформатическими инструментами.

Студенты 2 курса учебной группы 24-12 (направление «Стоматология») были поделены на две группы: 1. Контрольная группа (КГ): Традиционная методика. 2. Экспериментальная группа (ЭГ): Методика с акцентом на цифровые инструменты и интерактивную работу.

Длительность: 3 аудиторных занятия (6 часов).

Для Контрольной группы (Традиционный подход):

1. Лекция (2 часа): Детальный разбор структуры химотрипсина: первичная, вторичная, третичная структура, активный центр. Объяснение механизма катализа (этапы ацилирования и деацилирования) с использованием статических 2D-схем из учебника.
2. Семинар (2 часа): Решение задач на определение типа катализа (общий кислотно-основной, ковалентный), обсуждение специфичности фермента, разбор структуры фермента, но без интерактивной работы.
3. Заключительное обсуждение и мини-конференция (2 часа).

Для Экспериментальной группы (Цифровой интерактивный подход):

1. Подготовительный этап (дома): Студенты получили ссылки на короткие видео-инструкции по базовому управлению Symix-Draw, HyperChem и задание: ознакомиться с интерфейсом.
Лекция (2 часа): Детальный разбор структуры химотрипсина: первичная, вторичная, третичная структура, активный центр. Объяснение механизма катализа (этапы ацилирования и деацилирования) с использованием статических 2D-схем из учебника.
2. Интерактивное занятие в компьютерном классе (2 часа): Решение задач на определение типа катализа (общий кислотно-основной, ковалентный), обсуждение специфичности фермента, разбор структуры фермента, с работой в графических редакторах Symix-Draw, HyperChem.
3. Заключительное обсуждение и мини-конференция (2 часа)

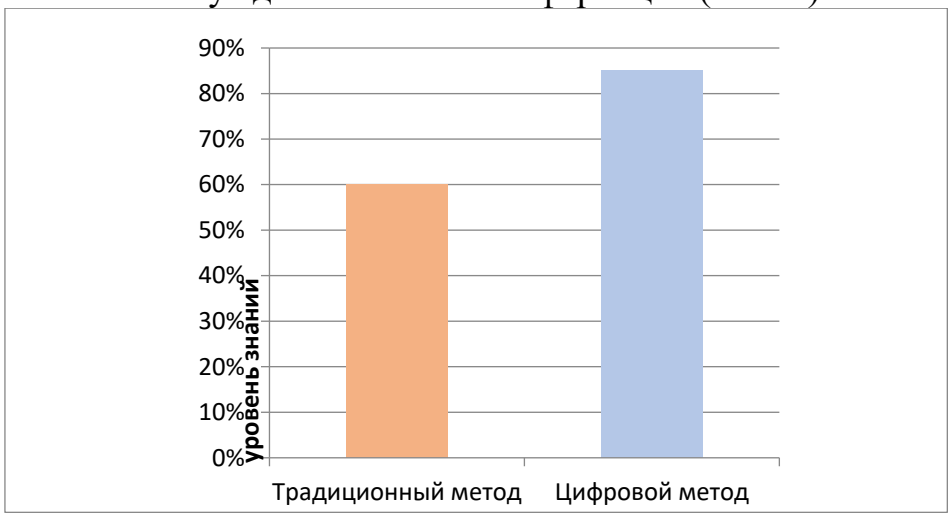


Диаграмма 1. Уровень знаний студентов по теме «Механизм действия химотрипсина»

Этот эксперимент не просто сравнивает методики, а внедряет инструмент современной биохимической науки (структурный биоинформатический анализ) в учебный процесс, что напрямую готовит студентов к будущей исследовательской или прикладной работе.

Использование интерактивной 3D-визуализации и моделирования в рамках проблемно-ориентированного обучения приводит к более глубокому концептуальному пониманию механизмов действия ферментов и повышает способность применять эти знания для анализа незнакомых белков по сравнению с традиционным лекционно-иллюстративным методом.

Список литературы

1. *Пак М.С.* Теория и методика обучения химии: учебник для вузов. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2015. 306 с.
2. Рабочая программа дисциплины «Методика преподавания химии в ВУЗе». РУДН, 2021.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ХИМИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Бигаева И.М., Печеная В.А., Муриева Л.Э.

СОГУ имени Коста Левановича Хетагурова, Владикавказ

bigaeva@mail.ru

Внедрение генеративного искусственного интеллекта (ИИ) в учебный процесс ставит перед химическим образованием серьезный вызов. Главная проблема заключается в формировании у обучающихся привычки «слепого доверия» к результату, выдаваемому нейросетью без понимания физико-химических закономерностей того или иного процесса.

С использованием результатов работы искусственного интеллекта (ИИ) студентами возникает проблема «Интеллектуального иждивенчества». Современные модели, такие как OpenAI o3 или Claude 4.5, способны мгновенно решать задачи на расчет pH, предсказывать направление электрофильного замещения или составлять схемы многостадийного синтеза. Однако для студента это часто превращается в работу с «черным ящиком»: вводится запрос - получается ответ. Как результат, утрачивается способность к логике. Если студент не понимает, почему метильная группа является ориентантом первого рода, но при этом выдает правильную схему реакции, сгенерированную ИИ, его химическая компетенция равна нулю. В реальной лаборатории или на производстве, где условия могут отклониться от идеальных, такой специалист окажется беспомощным.

На наш взгляд, методика преподавания должна сместить акцент с результата на обоснование. Студент должен воспринимать ответ ИИ не как истину, а как гипотезу, требующую верификации. Например, при решении задач с помощью ИИ обучающийся обязан выполнить «обратное проектирование» ответа. Если ИИ предсказал выход продукта 85%, студент должен теоретически обосновать это через константы равновесия, побочные реакции и законы термодинамики.

В октябре 2025 года мы провели анкетирование студентов факультета естественных наук и технологий ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова» об использовании ИИ для учебный целей. Изучение результатов анкетирования привело нас к следующим выводам.

Чтобы исключить бездумное использование технологий, необходимо внедрить следующие стандарты оценивания.

1. Стандарт «Аргументированного пути».

Оценивается не правильный ответ, а детальный протокол рассуждений. Если решение получено с помощью ИИ, студент обязан приложить «карту логики», где каждый шаг нейросети подтверждается ссылкой на конкретный химический закон (закон Гесса, принцип Ле Шателье и др.).

2. Стандарт «Поиска галлюцинаций».

Преподаватель намеренно дает студенту сгенерированный ИИ текст или решение задачи, содержащее тонкую химическую ошибку (например, нарушение валентности или неверный выбор катализатора). Задача студента — найти ошибку и доказать, почему ИИ неправ. Это высшая форма контроля, развивающая критическое мышление.

3. Стандарт «Многомодельного сравнения».

Студенту предлагается решить сложную задачу (например, механизм перегруппировки), используя разные модели (напр. GPT 4o, Claude 4.5 и Gemini 3 Pro). Затем он должен провести сравнительный анализ ответов, выявить противоречия и на основе учебной литературы определить, какая модель была наиболее точна.

4. Переход к персональным защитам лабораторных работ.

Ни один отчет, написанный ИИ, не должен приниматься без устной защиты. Стандарт контроля должен включать экспресс-вопросы по механизму процесса, который был описан в сгенерированном тексте.

В заключении, хотелось бы сказать, что искусственный интеллект в химии – мощный ускоритель, но без фундаментальных знаний он превращается в опасный инструмент. Мы должны научить студентов «видеть» движение электронов, чувствовать энергетику связей за сухими строчками ответов нейросети.

Список литературы

1. *McAfee S.C., Rodriguez J.-M.G.* // J. Chem. Educ. 2025. Vol. 102. N 12. P. 5082. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5c00958
2. *Haraldsrud A., Odden T.O.B.* // J. Chem. Educ. 2025. Vol. 102. N 10. P. 4255. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5c00657
3. *Каптерев А.И.* // Вестник РУДН. Серия: Информатизация образования. 2023. Т. 20. № 3. С. 255. DOI: 10.22363/2312-8631-2023-20-3-255-264

ПРИРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЗАДАНИЯХ ЕГЭ И ОЛИМПИАД

Паршина М.М.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва

mari73712@mail.ru

Природные соединения очень разнообразны, их отличает наличие, как правило, нескольких функциональных групп, обеспечивающих многообразие химических свойств, что, в свою очередь, позволяет им принимать непосредственное участие в процессах жизнедеятельности. Выделяют 7 типов природных соединений: 1) аминокислоты, пептиды, белки, 2) углеводы; 3) липиды; 4) изопреноиды; 5) природные ароматические соединения; 6) витамины; 7) алкалоиды. Важность изучения природных соединений трудно переоценить, эта область находится на стыке химии и биологии и ее изучение открывает широкие перспективы для развития медицины. Поэтому школьники, выбирающие для дальнейшего обучения химические и биологические специальности, должны обладать хорошими знаниями о свойствах данных соединений.

Однако в школьном курсе химии на изучение данной темы отводится очень малое количество времени. В то же время химия природных соединений (белков, жиров и углеводов) представлена и на вступительном экзамене, и на олимпиадах школьников, проводимых в Московском университете. Чтобы определить, насколько часто встречаются задачи по указанной теме в материалах вступительных экзаменов по химии и в заданиях университетских олимпиад, были рассмотрены конкурсные задачи по химии, публикуемые с 2017 г. [1], биологии [2], а также сборники заданий для подготовки к ЕГЭ по химии
и биологии [3-4].

Можно сделать выводы о том, что существует очень большая разница в уровне сложности и глубине охвата материала, знание которого необходимо для успешной сдачи ЕГЭ по химии и для поступления в Московский университет. Наиболее часто по данной теме в заданиях дополнительных вступительных испытаний и олимпиад встречаются задачи на знание химических свойств и методов получения аминокислот, пептидов и белков, немного уступают по частоте задачи про углеводы. Задания про жиры встречаются довольно редко, чаще всего они посвящены гидролизу, однако в 2024 г. поступающим в МГУ имени М.В.Ломоносова была предложена задача, для решения которой необходимо было записать реакцию взаимодействия непредельной жирной кислоты с холодным нейтральным раствором перманганата калия (или с бромной водой в другом варианте) для установления строения жира, в ходе решения необходимо было использовать рассуждения

о возможной хиральности молекулы жира. Подобные задания ранее не встречались в материалах вступительных экзаменов и олимпиад, что говорит о возрастании уровня сложностей заданий и является ответом на возросшую необходимость отбора наиболее подготовленных абитуриентов.

В то же время в материалах олимпиад по биологии для поступающих в Московский университет задания на понимание химических свойств природных соединений встречаются довольно регулярно, например, это задания на установление аминокислотной последовательности пептида, а в материалах ЕГЭ по биологии есть задачи на понимание процесса эмульгирования жиров и гликолиза.

Таким образом, по теме «Природные соединения» в заданиях по химии и биологии для поступающих наблюдается тесная интеграция, и учителям необходимо уделять больше внимания навыкам ее использования в образовательном процессе для формирования у учащихся целостного видения мира, развития у них мышления и повышения мотивации к обучению.

Список литературы

1. *Рыжова О.Н., Теренин В.И., Кузьменко Н.Е. и др.* Химия: олимпиады и вступительные экзамены по химии в МГУ. М.: Лаборатория знаний, 2024. 642 с.
2. Олимпиада школьников «Ломоносов» по биологии [Электронный ресурс]. URL: https://olimpiada.ru/activity/324/tasks/2021?class=11&year=2021 (Дата обращения 04.01.2026)
3. *Добротин Д. Ю.* ЕГЭ. Химия: типовые экзаменационные варианты: 30 вариантов. М.: Национальное образование, 2025. 368 с.
4. ЕГЭ. Биология: типовые экзаменационные варианты: 30 вариантов / под ред. В.С. Рохлова. М.: Национальное образование, 2025. 368 с.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

Притчина Т.А., ***Селиверстова И.В.***

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

seliverstova/i@inbox.ru

Современное школьное химическое образование всё в большей степени ориентируется на интеграцию цифровых технологий и междисплинарного подхода [1, 2]. Особенную актуальность данный аспект приобретает в классах информационно-технологического профиля, где химия, чаще всего, преподается на базовом уровне.

В результате возникает противоречие между наличием у учащихся данной направленности устойчивого интереса к программированию, визуализации данных, интерактивным образовательным средам, и объективным отсутствием возможности задействовать познавательный потенциал таких учащихся, используя традиционные формы обучения химии в условиях весьма ограниченного учебного времени.

Выход из сложившейся ситуации мы видим, прежде всего, во влечении таких учащихся в рамках внеурочной, проектной или исследовательской деятельности в разработку интерактивных образовательных продуктов по химии с использованием элементов искусственного интеллекта. Предполагается, что такой подход позволит повысить мотивацию и познавательную активность в изучении школьного предмета химии.

Стоит отметить, что выбор «химических объектов» для такого вида деятельности достаточно широк, он зависит от ряда факторов, определяющим среди которых, на наш взгляд, является контекст образовательной деятельности конкретного учебного учреждения.

В рамках нашего исследования осуществляется разработка и апробация «оживлённой» Периодической системы химических элементов, основанной на технологиях искусственного интеллекта и гипертекстовой навигации, для музейного пространства школы с привлечением учащихся 10 класса информационно-технологического профиля.

В данной таблице каждый элемент представлен в виде кликабельного объекта, при взаимодействии с которым появляется структурированная информация, включающая в себя интересные факты из истории открытия химического элемента и соответствующего ему простого вещества, физических и химических свойств, применении веществ и получении, нахождении в природе.

Отдельным образом такой интерактивной периодической системы является виртуальный образ Дмитрия Ивановича Менделеева. При клике на соответствующий элемент интерфейса, обучающиеся переходят к интерактивному историческому модулю, посвященному истории создания периодического закона и периодической системы химических элементов. Модуль включает в себя хронологию научных открытий, факты из биографии великого ученого-химика, а также анализ значения открытия периодического закона для развития современной науки химии и техники.

Стоит отметить тот факт, что разрабатываемый ресурс может быть использован как в рамках внеурочной, так и урочной деятельности по химии.

Экспериментальная апробация ресурса началась в сентябре 2025-2026 учебного года на базе одной из школ г. Санкт-Петербурга.

Предполагается, что в процессе изучения химии на базовом уровне при реализации такого подхода будет сформирован не только высокий уровень познавательного интереса к изучению химии, но и произойдет становление ключевых компетенций, являющихся неотъемлемым условием формирования современного успешного выпускника школы, а именно таких, как:

- коммуникативная компетенция, ориентированная на умение работать в команде;
- информационная компетентность, связанная с самостоятельным поиском, интерпретацией и анализом необходимой информации;
- деятельностнотворческая, так как при отборе материала делается акцент на развитие критического мышления [3], независимость и оригинальность высказываемых предположений, поиск альтернативных решений, разработку нескольких моделей будущего продукта с обоснованием выбора, приобретение учащимися практического опыта различных видов конструкторской и изобретательской деятельности.

Список литературы

1. *Блинов А.А.* Химическое образование в эпоху искусственного интеллекта: новые вызовы и решения. https://www.1urok.ru/categories/18/articles/84525?ysclid=mldzm4z3os653544051
2. *Галкина Е.Н.* // Мир науки. Педагогика и психология. 2024. Т. 12. № 2. Art. № 51PDMN224. https://mir-nauki.com/PDF/51PDMN224.pdf
3. *Потапов А.С.* Искусственный интеллект и универсальное мышление СПб: Политехника, 2012. 703 с.

О компании Wiggens

Компания Wiggens была основана в 2005 году с целью обеспечения лучшим лабораторным оборудованием и сервисом для получения надежных результатов. С тех пор компания Wiggens занимается производством высококачественного общелабораторного оборудования, аналитических приборов, а также решений для химических реакций и очистки. Наш бренд Wiggens отличается высоким качеством, долговечностью и выдающимися эксплуатационными характеристиками.

Wiggens — ваш надежный лабораторный помощник, предлагающий продукцию, которую можно использовать в различной лабораторной среде. Ассортимент продукции Wiggens включает:

Насосы ChemVak
Общелабораторное оборудование Wiggens
Life Science оборудование
Генераторы нулевого воздуха

Реакторные системы и системы очистки ChemTron
Реакторы
Роторные испарители
Тонкопленочные испарители
Устройства для молекулярной дистилляции

Аналитические приборы ChemTron
Вискозиметры
Титраторы
Плотномеры

Генераторы чистых газов ChemTron
H2 Генераторы
N2 Генераторы
O2 Генераторы

ChemVak, бренд компании Wiggens, специализируется на насосных технологиях, предлагая широкий ассортимент вакуумных и жидкостных насосов для различных применений. Линейка продукции включает в себя химически стойкие мембранные насосы, безмасляные насосы, пластинчато-роторные вакуумные насосы и оборудование для вакуумной фильтрации. Кроме того, данная линейка включает в себя перистальтические насосы, поршневые жидкостные насосы, шприцевые насосы, системы рекуперации растворителей и системы всасывания (аспираторы) для удовлетворения различных потребностей отрасли.

ChemTron — это наш бренд, специализирующийся на аналитических приборах, генераторах чистых газов, решениях для химических реакций, решениях для разделения и очистки в химических процессах, включая такие эффективные инструменты для химического разделения, как роторные испарители, тонкопленочные испарители, устройства для молекулярной дистилляции, автоматические системы дистилляции, системы кристаллизации и т.д.

WIGGENS
THE MAGIC MOTION

Насосы CHEMVAK

Вакуумные насосы

ChemVak
A brand of Wiggens

Способность быстро справляться со сложными и разнообразными задачами вакуумирования.

- Химически стойкие мембранные насосы
- Системы вакуумной регенерации растворителей
- Безмасляные поршневые вакуумные насосы
- Пластинчато-роторные вакуумные насосы
- Цифровые вакуумметры
- Вакуумные контроллеры

ОБЩЕЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Нагревательные плитки / Мешалки / Нагревательные установки

Привлекательный дизайн для сложных задач нагрева и перемешивания.

- Цифровые магнитные мешалки с подогревом
- Инфракрасные магнитные мешалки с подогревом
- Многопозиционные магнитные мешалки с подогревом
- Магнитные мешалки
- Многопозиционные магнитные мешалки
- Нагревательные плитки
- Термоблоки с нагреванием и охлаждением
- Твердотельные термостаты
- Колбонагреватели и контроллеры температуры

Верхнеприводные мешалки

Наш новый полный ассортимент лабораторных верхнеприводных мешалок удовлетворит ваши высокие требования каждый день!

- Цифровые верхнеприводные мешалки
- Верхнеприводные мешалки с высоким крутящим моментом/высокой скоростью
- Затворы мешалок
- Различные валы и крыльчатки перемешивания

www.wiggens.com Email: info@wiggens.com

WIGGENS
THE MAGIC MOTION

РАЗДЕЛЕНИЕ И ОЧИСТКА

Wiggens предлагает различное оборудование для последующей обработки (разделение и очистка) для химических реакторов.

- Лабораторные роторные испарители (50, 100, 250, 500, 1000, 2000 мл)
- Большие роторные испарители (6, 10, 20 л)
- Промышленные роторные испарители (50, 100 л)
- Взрывозащищённые роторные испарители (6, 10, 20, 50, 100 л)
- Роторные испарители для непрерывной работы
- Системы тонкопленочного испарения и молекулярной дистилляции
- Установки для непрерывной кристаллизации
- Системы автоматической непрерывной дистилляции/ректификации
- Системы автоматической непрерывной экстракции
- Вакуумные насосы и контроллеры
- Чиллеры

www.wiggens.com Email: info@wiggens.com

WIGGENS
THE MAGIC MOTION

СИСТЕМЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Стеклянные реакторы и вспомогательные устройства

ChemTron
A brand of Wiggens

Необходимые инструменты для исследований, масштабирования или производства в широком спектре научных дисциплин. Для максимального разнообразия и простоты использования, мы разработали простую базовую платформу, которая позволяет настраивать любую реакторную систему.

- Настольные стеклянные реакторы (250 мл ~ 5 л)
- Пилотные стеклянные реакторы (10 ~ 100 л)
- Стеклянные сферические реакторы (до 200 л)
- Стеклянное промышленное оборудование
- Стеклянные реакторы с фильтрацией (150 мл ~ 150 л)
- Стеклянные реакторы под давлением (до 6 л)
- Реакторы-диспергаторы
- Ультразвуковые, фотохимические, гидрогенизационные реакторы
- Станции параллельного синтеза
- Мешалки и насосы
- Дозирующие устройства
- Системы для измерения и контроля pH
- Программное обеспечение для автоматического синтеза

Реакторы из нержавеющей стали и вспомогательные устройства

Требования наших клиентов к реакционным сосудам столь же разнообразны, как и соответствующие процессы, которые в них проводятся. За последние десятилетия мы разработали модульную систему со стандартизированными соединительными компонентами для экономичной реализации индивидуальных решений. Это значительно упрощает проектирование и строительство наших изготовленных на заказ продуктов.

- Реакторы высокого давления (до 200 бар)
- Реакторы низкого давления (до 25 бар)
- Реакторы из нержавеющей стали для атмосферного давления или вакуума
- Нутч-фильтры
- Системы контроля температуры
- Мешалки: механические или магнитные муфты
- Дозирующие устройства
- Шаровые краны, игольчатые краны, электромагнитные клапаны, пневматические клапаны
- Программное обеспечение для автоматического синтеза

www.wiggens.com Email: info@wiggens.com

WIGGENS
THE MAGIC MOTION

ГЕНЕРАТОРЫ ЧИСТЫХ ГАЗОВ

H2, N2, Сжатый воздух, Очищенный воздух и Нулевой воздух.

- Генераторы водорода (технология PEM)
- Генераторы водорода и нулевого воздуха (два в одном
- Генераторы азота (технология PSA или мембрана из полых волокон)
- Генераторы азота и нулевого воздуха (два в одном)
- Системы сжатого и очищенного воздуха
- Генераторы нулевого воздуха / ультра-нулевого воздуха
- Наборы для технического обслуживания

ГЕНЕРАТОРЫ ВОДОРОДА

Чистота: 99.9996% или 99.99996%
Производительность: 100 мл/мин ~ 20 л/мин
Общая версия, плоская версия, башенная версия и версия для 19" стойки

ГЕНЕРАТОРЫ АЗОТА

Производительность: 200 мл/мин - 2000 л/мин
Чистота: 95 - 99.9999%

ГЕНЕРАТОРЫ КИСЛОРОДА

Производительность: 6 л/мин - 10 л/мин
Концентрация: 95%

ГЕНЕРАТОРЫ НУЛЕВОГО ВОЗДУХА

Производительность: 1,5 ~ 30 л/мин
Содержание УВ и CO: < 0.05 ppm
Содержание CO2: < 1 ppm
Содержание NOX и SOX: < 0.1 ppm

СИСТЕМЫ СЖАТОГО ВОЗДУХА / СИСТЕМЫ ОЧИЩЕННОГО ВОЗДУХА

Производительность: 20 ~ 900 л/мин
Давление: 5 - 10 бар

Product brochure
online at
www.wiggens.com Email: info@wiggens.com

ChemTron
A brand of Wiggens

WIGGENS
THE MAGIC MOTION

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Ротационные вискозиметры

Профессиональное и точное измерение вязкости, соответствующее вашим специфическим требованиям.

Вискозиметры с падающим шариком

Viscoball точно измеряет вязкость прозрачных ньютоновских жидкостей и газов с использованием специализированного шарика.

Автоматические системы измерения вязкости (Капиллярные вискозиметры)

Полуавтоматические или автоматические системы измерения вязкости.

Плотномеры

Переносные измерители плотности/удельного веса/концентрации.

pH/COND/DO-метры

Точные, надежные и избирательные в лабораторных и полевых условиях.

Рефрактометры

Портативные оптические рефрактометры, цифровые рефрактометры.

Титраторы, автосамплеры, программное обеспечение и электроды

Наши титраторы с широким диапазоном возможностей являются идеальными устройствами для потенциометрического титрования, предлагая возможности для расширения и автоматизации. Высокоточный интерфейс измерения pH/mV и "конечной точки" обеспечивает быстрое, надежное и точное определение множества параметров.

- Бюретки и титраторы
- Бюретки и титраторы с взаимозаменяемым блоком
- Титрование по Карлу Фишеру
- Устройства для подачи образцов и аксессуары
- Программное обеспечение для титрования
- Электроды для титрования

www.wiggens.com Email: info@wiggens.com

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Аблокулов Л.К. – с.55
Абрашов А.А. – с.152,182
Авакян Е.К. – с.74
Агамалиев З.З. – с.50
Агапов И.В. – с. 170
Акимова А.И. – с.203
Акимова Е.С. – с.32
Албагачиева Р.Б. – с. 253
Алексеев В.Г. – с.201
Алексеев Д.В. – с.204
Алексеева В.А. – с.33
Алексеева Е.Д. – с.46
Алиева-Пашаева К.Ш. – с.95
Альхаир А.Я. – с.123
Андреев И.А. – с.57
Андреева А.С. – с. 139
Анисимова Н.А. – с.46
Антонова Э.В. – с. 141
Антонычев Г.И. – с.107
Апрятина К. В. – с.108
Афанасьев О.И. – с.36
Ахмедова Н.Ф. – с. 194

Б

Бабаев Э.М. – с.34,79
Бабаева Т.А. – с.79
Баберкина Е.П. – с. 198
Бабешкин К.А. – с.191, 192
Бабкин И.Ю. – с.121
Багавиева Т.К. – с.241
Байчурин Р.И. – с.157, 164, 185
Балалаева А.И. – с.36
Банда Д. – с. 151, 187, 206
Баранова В.А. – с.182
Баринова Л.С. – с.41
Басанова Е.И. – с.77, 91
Башмаков В.И. – с. 19
Безнаева О.В. – с.101
Белецкая И.П. – с.126
Бенедиктов П.М. – с. 137
Березняк Я.С. – с.37
Бигаева И.М. – с. 235, 247,255
Бикбаева Г.И. – с.125
Бирин К.П. – с.119
Бобрышева Н.П. – с. 165, 170
Богданова В.Е. – с.38
Богданова Е.В. – с. 167
Богдашкина А.М. – с. 189
Бойцова Т.Б. – с. 245
Борисов А.Н. – с.27
Борисова Ю.Г. – с.40
Боровлев И.В. – с.74
Братчикова В.Д. – с.53
Брегадзе В.И. – с.88
Бузько В.Ю. – с.151, 187, 206
Булатов А.В. – с. 216
Булгакова Е.В. – с.39
Буслаева Т.М. – с. 23

В

Варваринская С.Е. – с. 143
Васильева М.А. – с.145
Васильева О.С. – с.118
Винник Д.А. – с. 148, 155
Вознесенский М.А. – с.165,170
Возняк Е.М. – с. 243
Войнов В.А. – с.40
Волгина Л.О. – с.153
Волков Е.С. – с.69
Ворожейкин М.И. – с.41
Ворона С.В. – с.137

Г

Габдуллин А.М. – с. 134
Гаджиева Г.Ф. – с.95
Галеева А.И. – с.191
Галкина А.С. – с.192
Галяметдинов Ю.Г. – с. 191, 195
Гасратова А. Ж. – с.253
Гахраманов Т.О. – с.58
Герасимов Д.Р. – с.43
Герасимова Е.А. – с.45
Глебова А.А. – с.46
Говди А.И. – с.56
Гогунов М.Е. – с.147
Годовиков И.А. – с.157
Голик И.А. – с. 245
Голохвастова В.И. – с.47
Гомонов К.А. – с.27, 106
Горбунова В.В. – с.245
Гордунов Г.А. – с.48
Гостев А.И. – с. 135

Григорьевский Я.М. – с. 207
Грин М.А. – с.54, 62, 63, 75, 103, 112, 113, 131
Гудкова С.А. – с.148
Гурбанова У.Р. – с.50
Гусак М.Ю. – с.149

Д

Дабижа О.Н. – с. 180
Давыдова Е.Г – с.211, 218, 221, 225,230
Дансоко С. – с. 151, 206
Даровских А.В. – с.41
Демидов О.П. – с.74
Демчук З.А. – с.52
Денисенко Ю.Г. – с. 153
Джуманиязова С.Н. – с. 246
Дзитиев Г.В. – с. 247
Дзуцев А.А. – с. 235
Дидык А.А. – с.152,182
Домашова А.Е. – с.103
Дорохова А.А. – с.209, 223
Друзина А.А. – с.88
Дурбажев Е.В. – с. 211
Душик В.В. – с. 171
Дяченко В.Д. – с.33

Е

Егоров Д.М. – с.39,45, 109
Егорова А.В. – с.125
Егорова А.Р. – с.53
Ермоленко А.А. – с.74
Ермоленко А.П. – с.74
Ерохина Б.Н. – с.87
Ефимов Н.Н. – с. 192
Ефимова Т.П. – с. 27
Ефремов Е.В. – с. 198
Ефремова И.Е. – с.27, 43, 53, 130

Ж

Жамбеева И.М. – с.54, 112
Живулин Д.Е. – с.148
Жижин К.Ю. – с.24
Жилин Н.Г. – с.87
Жованик Ю.В. – с.153, 161

З

Зайцева А.А. – с. 212
Занин А.А. – с. 166, 197,231
Зарипова Ф.Ф. – с.125
Захаров А.В. – с.69
Зима С.А. – с.237
Зирник Г.М. – с.148,155
Зиядуллаев М.Э. – с.55
Золотовский К.А. – с.200
Зотов В.В. – с.63, 103

И

Ибрагимова Я.И. – с.56
Иванова О.А. – с.57
Игнатьева Е.М. – с.57
Игонин А.С. – с.157, 164,185
Икрамов А. – с.
Ильин А.В. – с.84
Имангалиева А.У. – с.68
Исаева Е.И. – с.29, 145, 157, 164,178, 179, 185
Искендерова А.А. – с.58
Исмайлова С.Б. – с. 194
Исхаков А.Ф. – с. 195

К

Кадашева Ж.К. – с.60, 68
Кадикова Р.Н. – с. 134
Каниболоцкий Н.Ю. – с. 214
Каплин А.А. – с. 198
Карагузина К.Р. – с. 215, 228
Карипова Д.Р. – с. 216
Кароткевич Е.И. – с.62, 112
Картава Ю.С. – с.63, 103
Каткова С.А. – с. 177
Качалова Г.С. – с.241
Керимли Ф.Ш. – с.80
Кинжалов М.А. – с. 25, 97, 141, 149, 159
Кирш И.А. – с.101, 123
Ковтун И.Д. – с.66
Кожевникова Е.С. – с.69
Колесников И.Е. – с.125
Колесникова А.В. – с. 182
Колчин Д.В. – с.64, 110
Комова П.В. – с.159
Корлякова П.А. – с.66
Коршунов А.А. – с.68
Косенко А.И. – с. 191
Костина Э.С. – с. 249
Котовщиков Ю.Н. – с.126
Краснопёров А.И. – с. 196
Крылатова Я.Г. – с. 243

Крылова М.А. – с.69
Ксенофонтов Н.А. – с. 197
Кудашева А.С. – с.70
Кузин Ю.И. – с. 217
Кузнецов Д.Н. – с.121
Кузнецова П.С. – с.162
Кузнецова С.А. – с.161
Кукушкин В.Ю. – с.22
Кулешов А.В. – с.57
Кутяшева Н.В – с. 209, 223, 226, 233
Кухарчик Н.М. – с.72
Кушакова А.И. – с.251

Л

Лактюшина Д.П. – с.152,182
Латышев Г.В. – с.126
Ларин А.Н. – с.74
Латышев Г.В. – с.
Левченко Д.С. – с.157, 164
Леонова В.Б. – с.75
Лифаренко А.С. – с.76, 112
Лиходумова И.Н. – с. 209
Лишай А.В. – с.72
Логинов С.В. – с.236
Лодянов Ю.О. – с. 216
Лукашев Н.В. – с. 126
Лукьянова А.А. – с.41
Лютова Ж.Б. – с.70, 116

М

Макаренко С.В. – с.29, 52, 89, 111
Макаров Г.И. – с.68
Маланьин А.А. – с.77
Мамедов С.Э. – с.34, 58, 79, 80, 194
Мамедов Ф.Ф. – с.50
Мамедов Э.С. – с.34, 58, 79
Мамедова А.З. – с. 195
Маммадова Х.М. – с.80
Мамонова Е.А. – с.82
Мамонтов М.А. – с.84
Маньшина А.А. – с.125
Маркарян А.А. – с. 165, 170
Маркин А.В. – с.189
Мартынов Л.Ю. – с.112
Масленченко А.Ю. – с.85, 93, 128
Матвиенко Э.Р. – с.87, 253
Медведев Д.А. – с.162
Мезенцев И.А. – с.88
Меламед Т.Б – с. 198
Меткалова А.Д. – с.85
Минаева В.Ю. – с.89
Минеева И.В. – с.48, 114
Мирзаалиев Т.О. – с. 166
Мирзалиева С.Э. – с.34, 79
Мирошников В.С. – с.85, 93, 128
Мирская Е.И. – с.218
Митянов В.С. – с.100
Михайлов Ю.М. – с.41
Михеев Н.А. – с.91
Михрячев О.И. – с.237
Москаленко И.В. – с.200
Москва В.В. – с.93
Мурзаканова Д.Ю. – с.253
Муриева Л.Э. – с. 255
Мухина Е.С. – с.38
Мухортова Ю.Р. – с.132

Н

Нагиев А.В. – с.50
Нагиева М.В. – с.95
Наукенов М.Ж. – с.60, 68
Нгуен Т.К. – с.97
Низов Е.Р. – с. 239
Никитин А.П. – с.147
Никитина П.А. – с.77, 91
Никитченко Е.Д. – с.99
Николаева А.Д. – с.236
Никтаров А.С. – с.100
Новиков М.А. – с.101, 237
Новикова Д.С. – с.137
Новикова М.А. – с. 219
Нурбоев Дж.О. – с.55
Нурманов С.Э. – с.55

О

Оботнина М.А. – с.165
Озерова О.Ю. – с.52, 89, 111
Онучак Л.А. – с.203
Орлова И.А. – с. 246
Осипов К.М. – с. 171
Осмоловская О.М. – с.165, 170
Осмоловский М.Г. – с.165,170
Остроглядов Е.С. – с.118

П

Павлова П.А. – с.103, 131
Панова Е.Г – с. 204, 207, 219

Паршина М.М. – с. 257
Пахолков К.Р. – с. 167
Пелипко В.В. – с.27, 106
Пестов С.М. – с. 196
Петрова Д.А. – с.169
Петросянц С.П. – с.192
Печеная В.А. – с. 255
Пилип А.Г. – с.125
Писарев Д.И. – с.121
Побединская Д.Ю. – с.74
Погорилый В.А. – с.63, 103, 131
Погребняк А.В. – с.87
Подурец А.А. – с. 170
Подъячева Е.С. – с.36
Поливановская Д.А. – с.119
Полигенько А.В. – с.171
Полушин А.А. – с.151,187, 206
Почивалов А.С. – с. 216
Притчина Т.А. – с. 259
Протасов И.Д. – с.221
Пузырьков А.А. – с.104
Пулялина А.Ю. – с.147
Путис С.М. – с.64, 110

Р

Рамазанов И.Р. – с.134
Раскильдина Г. З. – с.40
Расулов Ч.К. – с.95
Ратманова Н.К. – с.57
Рахманин К.С. – с. 222
Рачис М.В. – с.173
Редькин Н.А. – с.203
Рихтер Э.А. – с.175
Родионов А.Н. – с.47, 99
Розин Д.И. – с.106
Романенко А.О. – с. 223
Романов А.С – с. 177
Романова К.А. – с. 195
Ростовский Н.В. – с.107
Рубан Е.А. – с.171
Румак А.В. – с.33
Румянцева Л.А. – с. 200

С

Сагдеев Д.О. – с. 191
Садомцева О.С. – с. 222
Сальникова А.А. – с.
Сараева Т.А. – с.33
Сариман Д. – с.187
Сафронова А.В. – с.43
Сачкова А.А. – с.82
Седуш Н.Г. – с.66
Селиверстова И.В. – с.259
Семенов С.А. – с.184
Сенченков А.Р. – с.107
Серебрякова Я.В. – с.225
Серебрянникова К.С. – с. 226
Сиваев И.Б. – с.88, 167
Сивцов Е.В. – с.135
Сизова А.А. – с. 178
Силина Е.Д. – с.228
Симеониди Д.Д. – с.247
Синицына Т. М. – с.108
Смирнова Е.А. – с. 169
Смирнова О.Н. – с.108
Совенко П.С. – с.179
Соколов И.А. – с. 165
Соколова Е.С. – с. 201
Солобоева Т.П. – с.180
Сологубов С.С. – с.189
Сонин Н.О. – с.109
Сорвин М.И. – с. 214
Сосновенко К.И. – с.110
Степаков А.В. – с.104
Стогний М.Ю. – с.167
Стойков Д.И. – с. 215,228
Султанова Р.М. – с.32, 37
Сурменев Р.А. – с.132
Сурменева М.А. – с.132
Сухно И.В. – с. 151, 187, 206
Сухорукова В.А. – с.152, 182

Т

Тандаре Т.Ф. – с.63
Таран Е.В. – с.111
Тарутина Л.Р. – с.162
Тверитникова И.С. – с.101, 123
Телятников В.Б. – с. 184
Тетеркин В.А. – с. 230
Тикиджи М.В. – с.139
Титов Г.Д. – с.107
Тихомирова И.Ю. – с.27, 204, 207, 219
Тихонов С.И. – с.54, 62, 75, 76, 112, 113
Толстов М.А. – с. 231
Трушков И.В. – с.57
Туполова Ю.П. – с. 139

У

Уланова Е.С. – с.113

Ф

Фам Л. – с. 191
Федоров А.Ю. – с.82
Федорова Е.Ю. – с. 223, 233
Фокин М.И. – с.125
Франтов Д.И. – с.114

Х

Халеев В.С. – с.70, 116
Хамидов Т.А. – с.118
Хиль А.М. – с.135
Холина С.И. – с.70
Хомяков Т.Д. – с.119
Хохоев Т.Э – с. 235
Хромова М.И. – с.121

Ц

Цивадзе А.Ю. – с. 119

Ч

Чекалина С.В. – с.123, 237
Черкасова А.В. – с.46 , 125
Черкасова А.С. – с.
Чернова У.Д. – с.157,185
Чернуха А.С. – с. 155
Черняк Д.М. – с.126
Чусов Д.А. – с.36

Ш

Шакирова В.В. – с. 222
Шапоренков А.А. – с.171
Шаталов Е.В. – с.241
Шерендова В.Е. – с.128
Шестухина С.М. – с.130
Шипулина Н.А. – с.103, 131
Ширинян В.З. – с.69
Шишаева С.М. – с. 236
Шишов А.Ю. – с. 211, 218, 221, 225, 230,239
Шлапакова Л.Е. – с.132
Шпынева М.А. – с.
Шрамков Е.А. – с.148

Щ

Щегравина Е.С. – с.82
Щербаков И.Н. – с.139

Ю

Юдин Н.В. – с. 198
Юлбарисов А.Б. – с.134

Я

Яковлев В.В. – с.135
Яковлева П.А. – с. 137
Яковлюк Р.О. – с. 237
Якубовская Т.К. – с.241
Якупов Р.П. – с. 187
Якушин Р.В. – с.198
Ялеев И.И. – с.
Яцышина В.С. – с.239

Научное электронное издание

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ XXI ВЕКА

Материалы IX Всероссийской молодежной конференции
с международным участием, посвященной 95-летию со дня рождения
заслуженного деятеля науки Российской Федерации,
профессора Юрия Николаевича Кукушкина

Вёрстка: *Исаева Е. И., Игонин А. С., Пелипко В. В.*

Публикуется в авторской редакции

Подписано к использованию 29.04.2026 г.
Тираж 100 экз. Объем 15,4 Мб

Издательство РГПУ им. А. И. Герцена
191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48